

3. インパクト未実現技術の事例分析結果

ここでは、以下に示した 16 のインパクト未実現技術についての事例分析結果を示す。事例分析結果は「事例分析のまとめ」と「事例分析についての詳細資料」から構成されている。

分野	技術名
ライフサイエンス	幹細胞による培養自己組織を人工臓器・組織の材料として用いる技術
	遺伝子操作による耐寒・耐乾・耐塩性作物の作出技術
情報通信	垂直磁気記録技術(ハードディスクドライブ用)
	ユビキタス・ネットワーク
環境	廃棄物処理用ガス化溶融炉及び灰溶融炉技術
	二酸化炭素の分離・回収技術および隔離技術
ナノテクノロジー・材料	カーボンナノチューブ・デバイス技術
	高温超伝導材料
エネルギー	水素吸蔵合金
	燃料電池自動車
製造	マイクロアクタによる革新的化学品製造技術
	多目的看護や身障者への機能補助を行うロボット(福祉ロボット)
社会基盤	地震検知全国ネットワークによる地震動到達前防災システム
	難分解性物質等を含む排水の高効率生物処理システム
フロンティア	海底からの石油の経済的採取技術
	準天頂衛星システム

○ 事例分析のまとめは以下の4項目から構成されている。

<p>(1) 事例分析に当たって 対象とした技術の概要と調査方法およびヒアリング調査対象とした有識者についての情報を示した。</p> <p>(2) 技術動向 技術の発展の動向を技術開発の背景、関連する社会環境変化等を含めてまとめた。</p> <p>(3) 公的研究開発・支援の位置付け 技術がインパクトを実現するプロセスにおいて関連する公的研究開発・支援の内容を寄与の形態ごとにまとめて示した¹。</p> <p>(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト 将来技術がもたらすと考えられる経済・社会・国民生活へのインパクトをまとめた。インパクトについては可能な限り定量的に表現にした²。</p> <p>(5) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見(参考) ヒアリングの過程で得られた有識者からの意見をまとめた。</p>
--

○ 事例分析についての詳細資料では技術動向、公的研究開発・支援の位置付け、技術の経済・社会・国民生活へのインパクトについて具体的なデータを示した。

¹ 本文中の省庁(研究機関)名については、公的研究開発・支援が実施された期間が省庁再編前の場合は旧省庁名、省庁再編後を含む場合は現省庁名で記述した。但し、長期間にわたるプロジェクト等で、事例分析で調査対象となった研究開発が、主に省庁再編前に実施されたと考えられる場合については旧省庁名を記述した。

² データの出所は詳細資料に示した。

3-1 幹細胞による培養自己組織を人工臓器・組織の材料として用いる技術(ライフサイエンス)

(1) 事例分析に当たって

① 対象とした技術の概要

本事例分析では、生体組織・臓器に対して細胞を利用し、その機能の再生を図る再生医療技術を構成する主要な3技術(クローン、ES細胞、体性幹細胞)のうち、2010年～2015年頃までにインパクトの実現が期待される体性幹細胞利用技術を対象とした。

② 調査方法および対象

本事例調査では、当該技術に関する有識者等へのヒアリング調査を主とし、さらに文献調査・統計データ分析を実施した。

ヒアリング調査の対象を以下に示す。

- 学識経験者(名古屋大学医学部教授)1名
- 公的研究機関(産業技術総合研究所・ティッシュエンジニアリング研究センター)研究者1名
- 企業(再生医療ベンチャー企業役員)1名

(2) 技術動向

1998年以降に関連学会の設立、既存学会の名称変更が行われた事からも分かるように、再生医療自体は近年発達してきた技術である。薬や手術による治療が困難であった臓器や組織の損傷に対して、これまでは臓器移植、人工臓器、人体組織を利用した移植医療が中心であったのに対し、今後は、拒絶反応、感染症等の問題が少ない再生医療が大きなインパクトを生み出すことが期待されている。

マウスのES細胞の培養技術や、クローン羊等は、海外における研究であり、これまで我が国では個々の研究者が海外の研究に着目して小規模に研究を実施してきた。2000年代に入って、ミレニアムプロジェクト等によって戦略的・集中的に研究開発が実施されることで、短期間で世界へのキャッチアップが果たされた。幹細胞を利用した再生医療技術は、世界で技術開発競争が非常に激しく展開されている。この中で、我が国はトップクラスにあるとはいえるが、トップである米国とは差がある。

再生医療の対象としては、皮膚、軟骨、骨、歯、血管、心臓弁、臓器等、さまざまな可能性が研究されており、対象患者数としては約170万人、そのうち歯が最大で対象患者数は約110万人となる。体性幹細胞の利用技術に関しては、以下のような体性幹細胞関連技術、足場技術、サイトカイン関連技術等の発達により、実用化目前であり、我が国でも再生医療外来(歯科)が名古屋大学で2003年にスタートしている。

- スキャフォールド技術
- 細胞培養基盤技術
- 細胞単離技術
- セルフプロセッシングテクノロジー(細胞組織化技術)
- ヒトゲノム応用細胞分化誘導技術

(3) 公的研究開発・支援の位置付け

再生医療についての世界的な動向を見ると、米国ではNSF(1988年～)、NIST/ATP(1990年～)、NIH(1997年から目立って増加)によって公的研究開発・支援が行われている。我が国では旧科学技術庁(1992年～)、旧文部省(1996年～)、厚生労働省(2000年～)、経済産業省(2000年～)でプロジェクトが行われており、理化学研究所、産業技術総合研究所、京都大学等、関西圏に研究拠点が整備されてきている。

(大学や公的研究機関における基礎研究の継続・蓄積)

- 大学や公的研究機関による継続的な基礎研究を通じて人材育成や研究の蓄積がなされ、国家プロジェクトで集中的な研究資金が投資された際に、世界の研究水準にキャッチアップするための基盤となった。

(重点課題等への集中投資)

- 2000年から開始されたミレニアムプロジェクトでは研究資金の集中投資が行われ、これにより我が国の研究水準が世界に追いつき、一部世界をリードする分野もでてきた。

- 厚生労働省は未分化幹細胞等、臨床に近い分野、経済産業省は骨髄幹細胞等の次世代技術、文部科学省は基礎的な幅広い分野というように、再生医療の第1～3世代に対応した形で公的研究開発・支援がなされている。

これらの公的研究開発・支援は米国へのキャッチアップに非常に有効であったと評価されており、インパクトアンケート結果でも公的研究開発・支援の寄与は「大」とする回答が50%強、「大」と「中」の合計では約90%弱と大きい。

(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

体性幹細胞の利用技術としては、体性幹細胞の分離技術、分化増殖技術、立体構造形成技術の3つが重要な要素技術となっている。これらの技術は、大きくは関連産業での利用(培養システム、細胞供給、デバイス、細胞機能診断装置等)と臨床での利用(組織損傷・欠損部の再生、難治性疾患治療、美容・整形への応用)を通じて以下のようなインパクトが期待されている。

- 経済的インパクト
 - 医療費の削減。
 - 新規ビジネスの創出。
 - － 幹細胞利用の潜在波及効果5～10兆円
 - － ティッシュエンジニアリングを用いた新医療技術の2010年の市場規模2800億円
 - － 2010年の再生医療ビジネス市場規模450億円
 - ベンチャー企業の創出。
 - 特許ビジネスの進展。
- 社会的インパクト
 - 高齢化社会の活力増大。
 - 医療・福祉費用負担減による社会的投資余力の増大。
 - ドナー不足の解消。
 - 高齢者介護負担の軽減。
- 国民生活へのインパクト
 - 難治性疾患の完治可能性。
 - 急性疾患および致命的怪我からの回復。
 - 患者のQOLの飛躍的向上。
 - 寿命の延長。

当該技術は医療の様々な分野に関わる可能性を有している基盤的技術であるとともに、研究から臨床まで一体的に開発が進んでいるという特徴がある。

インパクトアンケート調査結果では、経済、社会および国民生活へのインパクトは総じて大きいと見られる(「大」および「中」との回答が約70～80%であった)。

(5) 指摘された課題と今後の公的研究開発・支援のあり方に関する意見(参考)

① 技術的課題

- 当該研究が活発化したのは1990年代後半であり、非常に歴史が浅い。一部の幹細胞利用は医療現場で始まっているが、多くの幹細胞は分離技術、増殖・分化技術などで未成熟の部分がある。また、3次元の組織・臓器などの再生はより高度な技術であり、今後の研究余地は大きい。(公的研究機関・研究者)

② 全般的課題

- 現在も世界で厳しい研究開発競争が行われており、立ち止まると海外諸国に抜かれる可能性が大きい。諸外国同様国家戦略としての対応が必要である。(学識経験者)
- 研究が世界水準である反面、実用化という面では日米欧の中で低い水準にある。近年韓国・中国なども力を入れておりアジア諸国にも負けている。(学識経験者)
- 実用化が遅れている理由の1つに、良し悪しは別として実態として国による規制が強いことが挙げられる。

- 臨床例を増やすことが技術進歩につながるため、臨床例の増大は必要である。(公的研究機関・研究者)
- 再生医療の一方の推進役は医療系ベンチャー企業が多い。再生医療では、投資した資金を回収するまでの期間が長く、また、副作用の発生により企業が責任を問われる場合がある。一般に、ベンチャー企業は資本力などが脆弱であることから、安定的・戦略的な企業経営ができるような体制が必要である。(学識経験者、企業・役員)
 - ③ **戦略的・集中的な研究開発の推進の必要性**
 - 研究面ではミレニアムプロジェクトなどで海外に追いついた。また、研究方法についても関西を中心に、名古屋や関東に研究拠点が形成され、研究者個人ではなくチームとして研究を進める体制が整ってきた。今後は、各拠点でチームプレーとしての戦略的な研究展開を進めていくことが必要である。また、研究予算についても、従来みられたばらまき型予算投下ではなく、拠点に対して集中的に投入することが必要である。(学識経験者、公的研究機関・研究者)
 - ④ **オリジナリティを求める研究と産業化を目指す支援の区分けの必要性**
 - これまでの公的研究開発は成果として論文になるようなオリジナリティ(新規性・独創性など)があるかどうかを採択・評価基準としてきた。早期の産業化を目指すには必ずしもオリジナリティにこだわらない研究開発支援も必要である。(企業・役員)
 - ⑤ **総合的・一体的な推進体制づくりの必要性**
 - 一方でミレニアムプロジェクトや研究拠点形成(関西・名古屋・関東など)が進められても、産業化のためにルールがうまく敷かれていない、知的所有権の保護が不十分、ベンチャー企業育成のための税制措置の弱さなどの課題があり、公的研究開発・支援が有効に働いていない面がある。(学識経験者)
 - 国家プロジェクトとしては研究だけでなく、以下のような省庁の垣根を越えた一体的な推進体制を同時に構築する必要がある。(学識経験者、公的研究機関・研究者、企業・役員)
 - 再生医療を対象とした診療報酬体系整備、関連ベンチャー企業への税制優遇、相互扶助システムの確立など関連制度全般についての総合的対策
 - 担当人員の増員による治験に関する行政手続きの迅速化や医療分野の特許制度の充実など

1. 技術動向

(1) 幹細胞利用を中心とする再生医療の位置付け

どんな薬や手術でも治すことの出来ない臓器や組織の損傷

< 移植医療 1960's年~ >

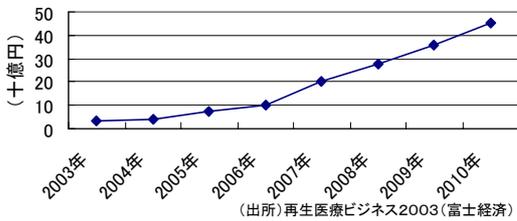
臓器移植	ドナー不足、拒絶反応、高額な医療費、社会システムに依存、死生観
人工臓器	機能的限界、合併症の発症、QOLの著しい低下
人体組織	日本においては組織バンクビジネスが一部(骨髄、眼)を除き未発達



< 再生医療 21世紀 > : 生体組織・臓器に対して細胞を積極的に利用し、その機能の再生をはかる医療

クローン	極めて大きな倫理的問題	×
ES細胞	倫理的問題、分化・誘導技術の未発達、拒絶反応、腫瘍化の危険性	▲
体性幹細胞	自己細胞利用の場合拒絶反応なし、感染症なし、倫理的問題も少ない	●

日本における再生医療市場規模推移予測



< 細胞組織工学(ティッシュエンジニアリング) >

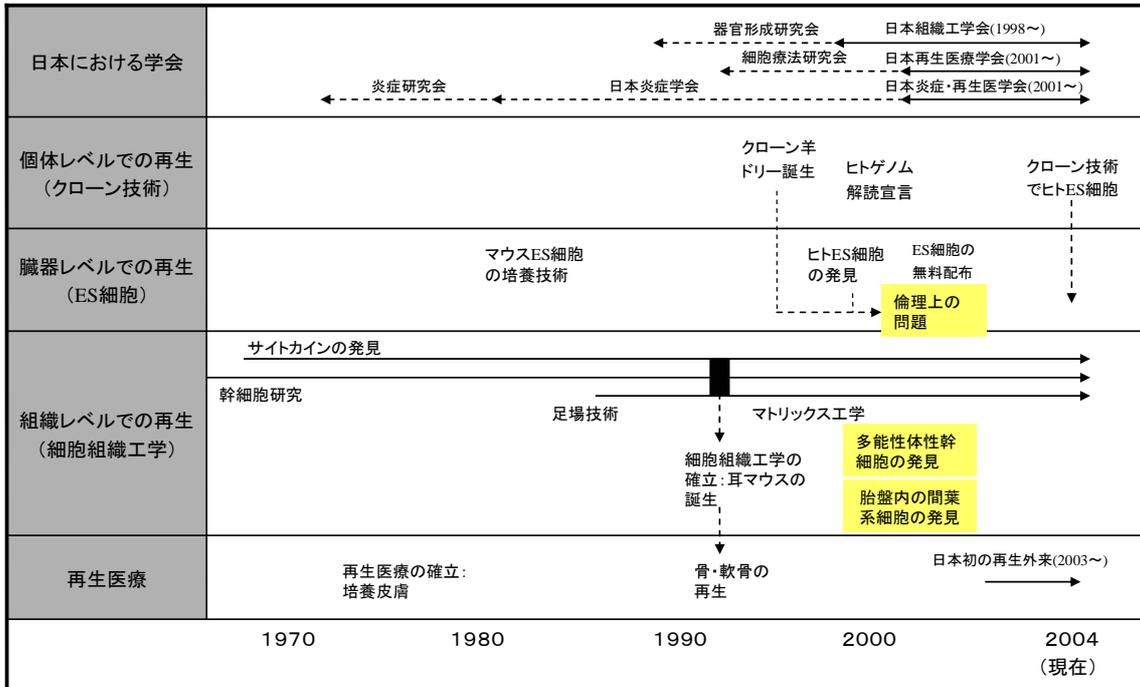
1987年に米国科学財団(NSF)が後援した会議において新しく造られた造語である。

米国移植医ヴァンティ博士の概念定義に従えば、
細胞組織工学=「幹細胞」+「足場」+「サイトカイン」

1

1. 技術動向

(2) 再生医療の歴史的な流れ

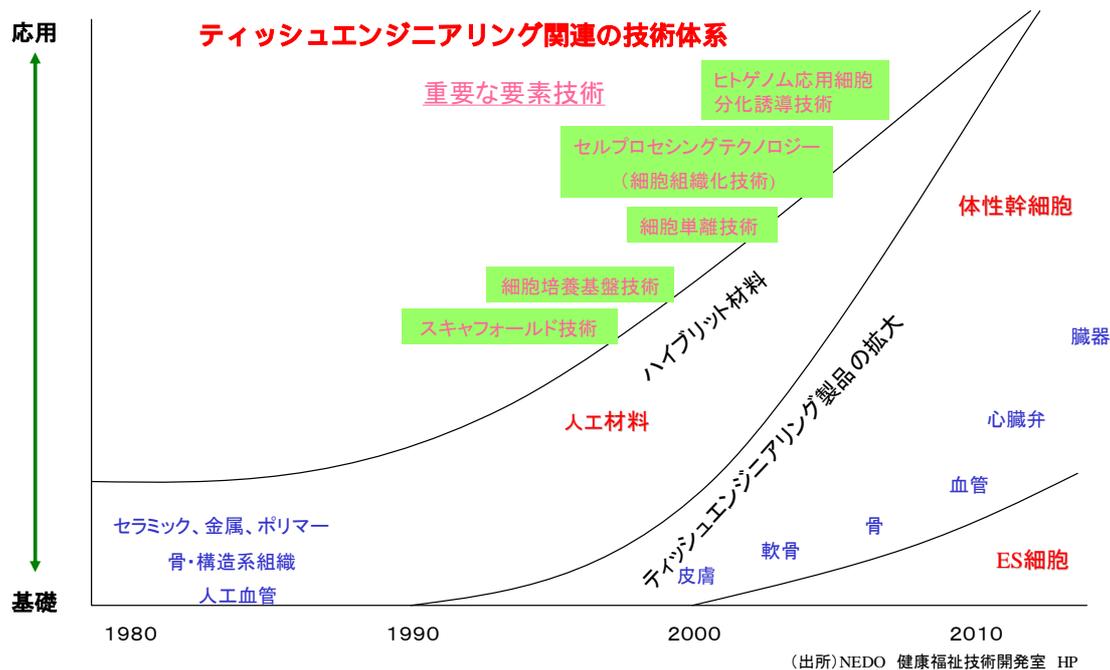


- 再生医療関連の主要な学会は日本組織工学会、日本再生医療学会、日本炎症・再生医学会でいずれも2000年前後に設立
- 受精卵から取られるES細胞の再生医療への応用に関して社会的コンセンサスを得ることは難しい
- 多能性体性幹細胞の発見、同種細胞として使える胎盤内の幹細胞の発見により飛躍的発展の可能性

2

1. 技術動向

(3) 細胞組織工学の技術体系



- 各種技術の進展により、体性幹細胞を用いた再生医療は実用化目前である
- 日本発の再生医療外来(歯)は名古屋大学で2003年よりスタート

3

1. 技術動向

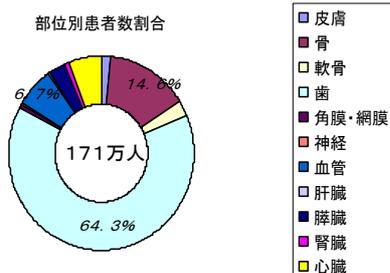
(4) 幹細胞を利用した部位別患者数

< 部位別疾患に対応して利用される幹細胞一覧 >

幹細胞名	主要対象疾患	対象患者数	臓器・組織名	備考
皮膚幹細胞	熱傷、皮膚疾患	27,000	皮膚	シミ、皺、母斑、刺青、
間葉系幹細胞	骨腫瘍、骨折	250,000	骨	
間葉系幹細胞	変形性関節症	40,000	軟骨	小耳症、老人性膝関節症
間葉系幹細胞	歯周病	1,100,000	歯	
上皮幹細胞	難治性眼表面疾患	10,000	角膜・網膜	色素網膜変性症、網膜はく離
神経幹細胞	抹消神経損傷	3,000	神経	アルツハイマー病、パーキンソン病、脳卒中、脊髄損傷
造血幹細胞	虚血性心疾患	115,000	血管	動脈硬化
肝幹細胞	劇症肝炎	3,300	肝臓	肝硬変
膵臓幹細胞	I型糖尿病	50,000	膵臓	
間葉系幹細胞	腎不全	12,064	腎臓	
間葉系幹細胞	虚血性心疾患	100,000	心臓	

(患者数自体はこれより多い)

(出所) 備考以外は再生医療ビジネス2003(富士経済)よりMRIが作成



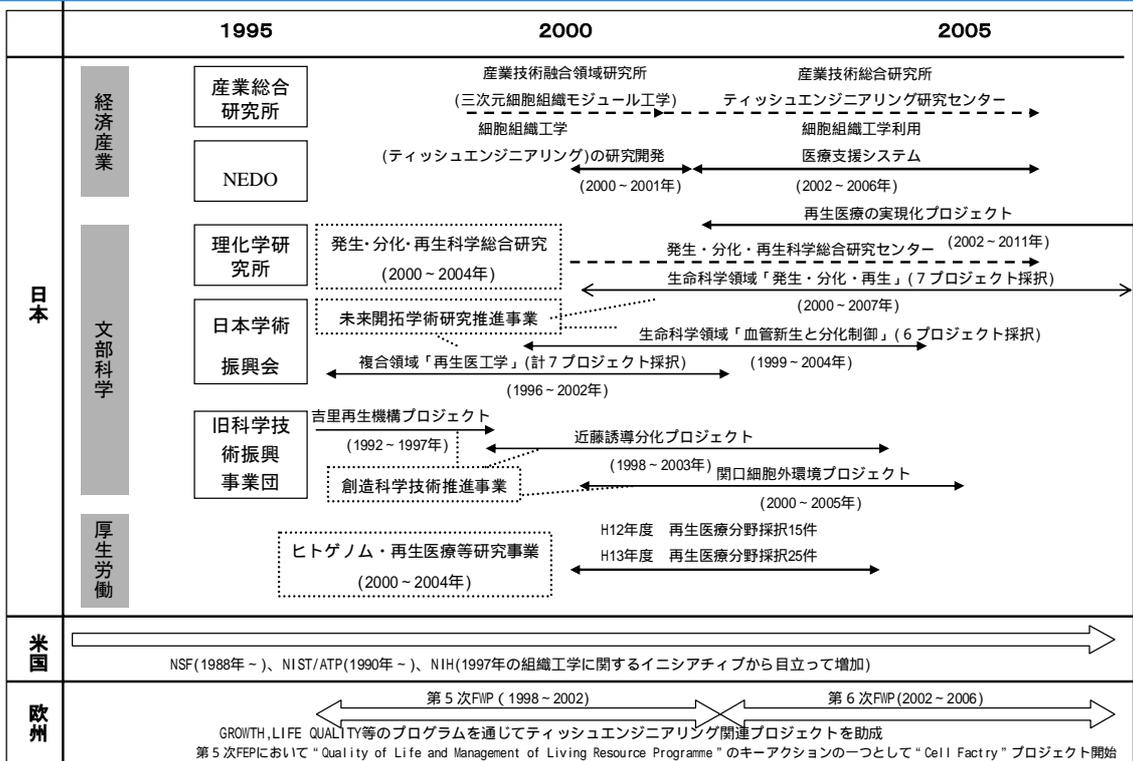
(出所) 再生医療ビジネス2003(富士経済)のデータを基にMRIが作成

- 日本におけるベンチャー企業が対象とする患者数だけでも170万人規模である。
- 最大は歯の再生医療で110万を対象とする。
- 技術革新及び保険制度との兼ね合いにより、今後ますます対象となる患者数は増加する。
- 例えば、中枢神経の再生が可能となれば、10万人規模の増加となる。

4

2. 公的研究開発・支援の位置付け

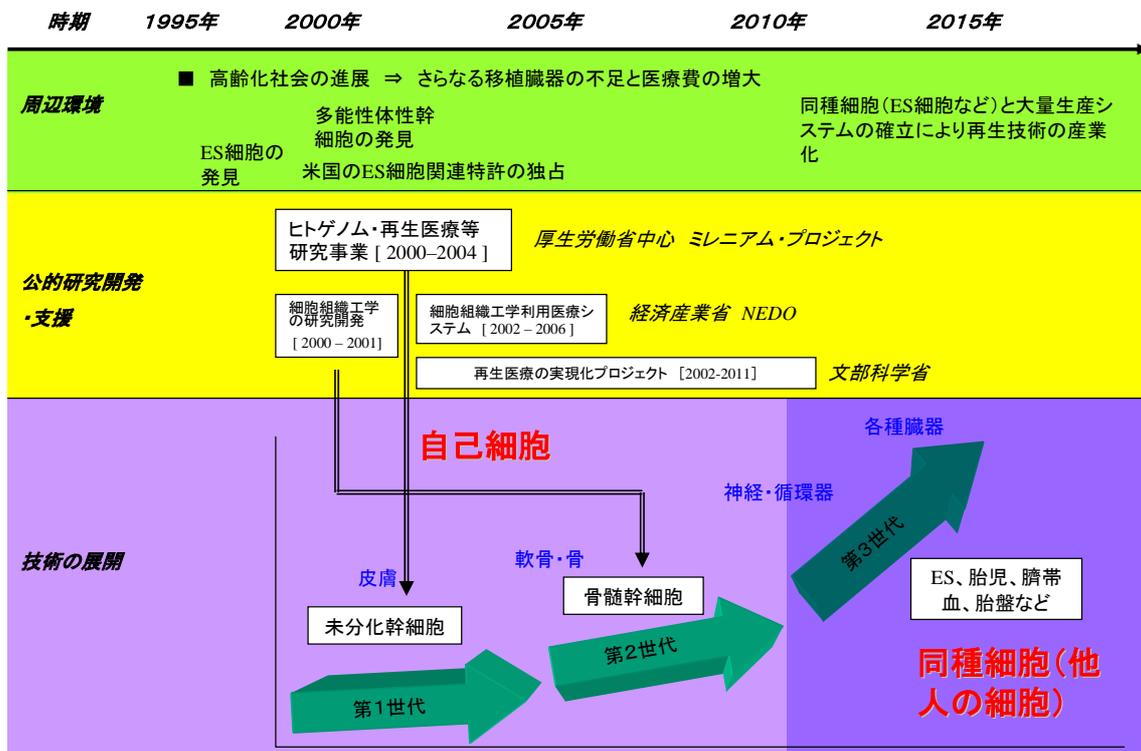
(1) 国内外の研究開発動向



5

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(2) 技術の展開と公的研究開発・支援の位置付け



6

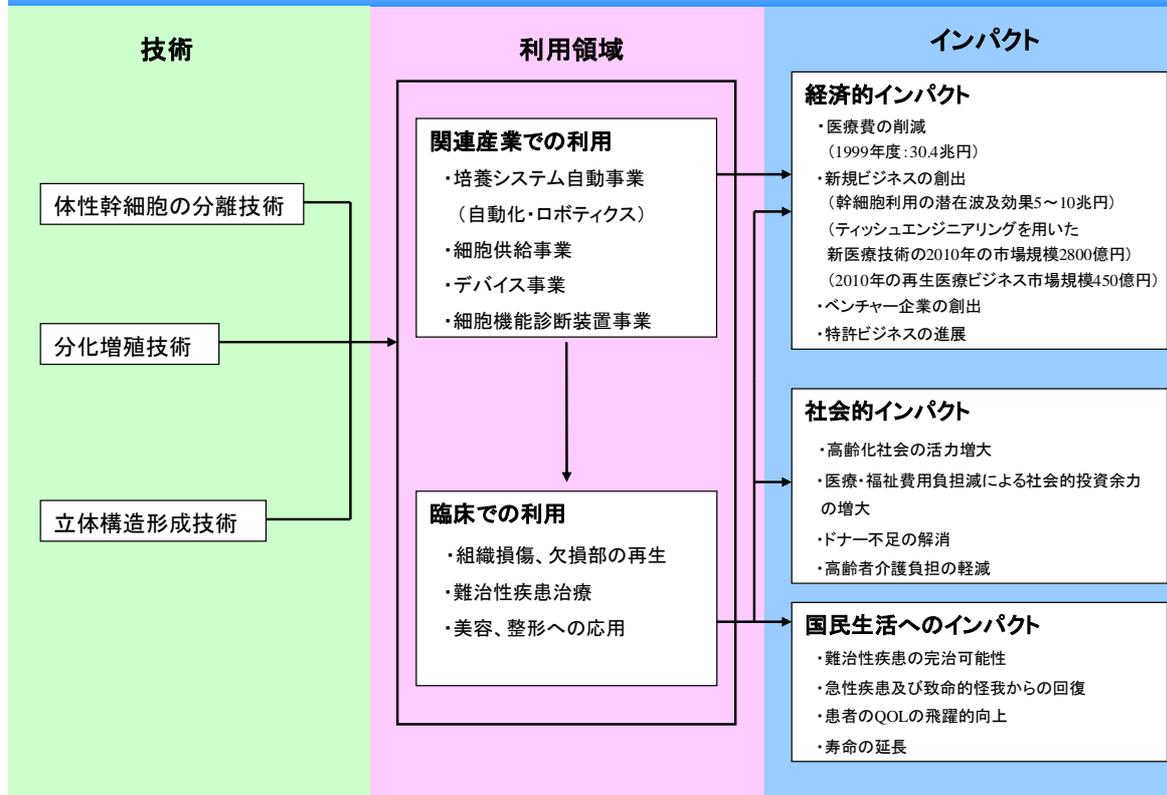
2. 公的研究開発・支援の位置付け

(3) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け

公的研究開発・支援	寄与の対象	寄与の形態・内容等
理化学研究所「発生・再生科学総合研究センター」[2002.4-](ミレニアムプロジェクトによる拠点整備)	生物の発生などの機能解明に基づく、拒絶反応のない、自己修復能力を利用した再生医療の実現	基礎的発生生物学、幹細胞研究、再生医療を目指す医学領域研究
産業技術総合研究所「テッシュエンジニアリング研究センター」[2001.4-](ミレニアムプロジェクトによる拠点整備)	再生医療・テッシュエンジニアリング技術の開発、形成された細胞組織の創薬などへの応用など	医療応用を目指した骨、軟骨の培養技術、神経細胞の培養技術、セルインフォマティクス解析技術、ナノバイオテクノロジーなど。
(財)先端医療振興財団[2000.3-](自治体による拠点整備)	次世代医療システム構築を通じた医療サービス水準向上、医療関連産業の集積形成	先端医療の実施、先端医療研究、産学連携・事業化支援、臨床研究情報提供
厚生労働省等 ミレニアムプロジェクト 「ヒトゲノム・再生医療等研究事業」 [2000-2004]	ヒトの体細胞が有する自己修復メカニズムを解析・応用することにより、以下の6分野の再生医療の実現。 ①骨・軟骨②血管③神経④皮膚・角膜⑤血液・骨髄⑥移植技術・品質確保技術	・採取・処理・加工・保存技術 ・分離・培養(スキャホールドなど)・生着技術 ・特定疾患に応用する技術 品質管理技術
経済産業省 NEDO 「細胞組織工学(テッシュエンジニアリング)の研究開発」 [2000-2001]	軟骨・骨・歯・筋・心臓弁などの修復・人工的な形成	・多分化能を有する幹細胞を探索・取得する技術 ・分化・誘導技術
経済産業省 NEDO 「細胞組織工学利用医療支援システム」 [2002-2006]	我が国の3大国民病である脳卒中と心臓病に対する治療法の確立	・神経幹細胞等の分化誘導・培養技術と装置の開発 ・細胞の機能診断及び分離システムの開発
文部科学省 経済活性化のための研究開発プロジェクト(リーディングプロジェクト) 「再生医療の実現化プロジェクト」[2002-2011]	・研究用幹細胞の供給体制の構築 ・発生・再生領域の基盤技術確立 ・神経幹細胞を応用したパーキンソン病、脊髄損傷などの治療	・研究用ヒト幹細胞バンクの整備 ・幹細胞の操作技術開発 ・幹細胞による治療技術の開発

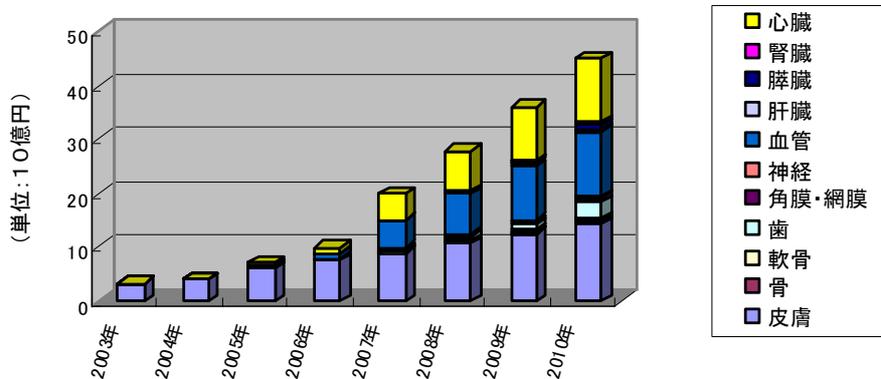
3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

(1) 技術を起点とした各種インパクトと実現プロセス



3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (2)再生医療ビジネスの市場規模

再生医療ビジネスの部位別市場予測



(出所)再生医療ビジネス2003(富士経済)よりMRIが作成

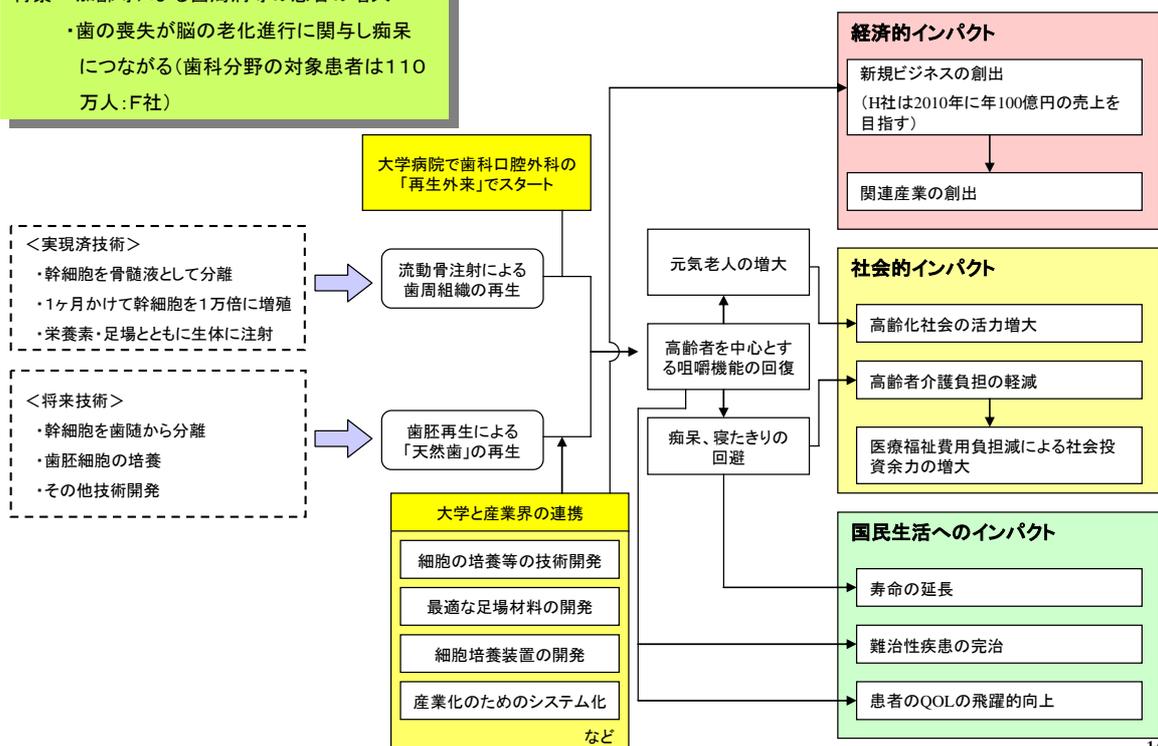
- 2010年における市場規模 予測は合計450億円
- 同種細胞(汎用的に使える)の場合、日本における骨の潜在市場規模は600億円*
- 幹細胞の医療全体へ潜在的波及効果は5~10兆円*

* NEDO「細胞組織工学(ティッシュエンジニアリング)の研究開発」事後評価報告書による

9

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (3)歯科医療分野における当該技術の利用とインパクト実現プロセス

背景 ・加齢等による歯周病等の患者の増大
 ・歯の喪失が脳の老化進行に関与し痴呆
 につながる(歯科分野の対象患者は110
 万人:F社)

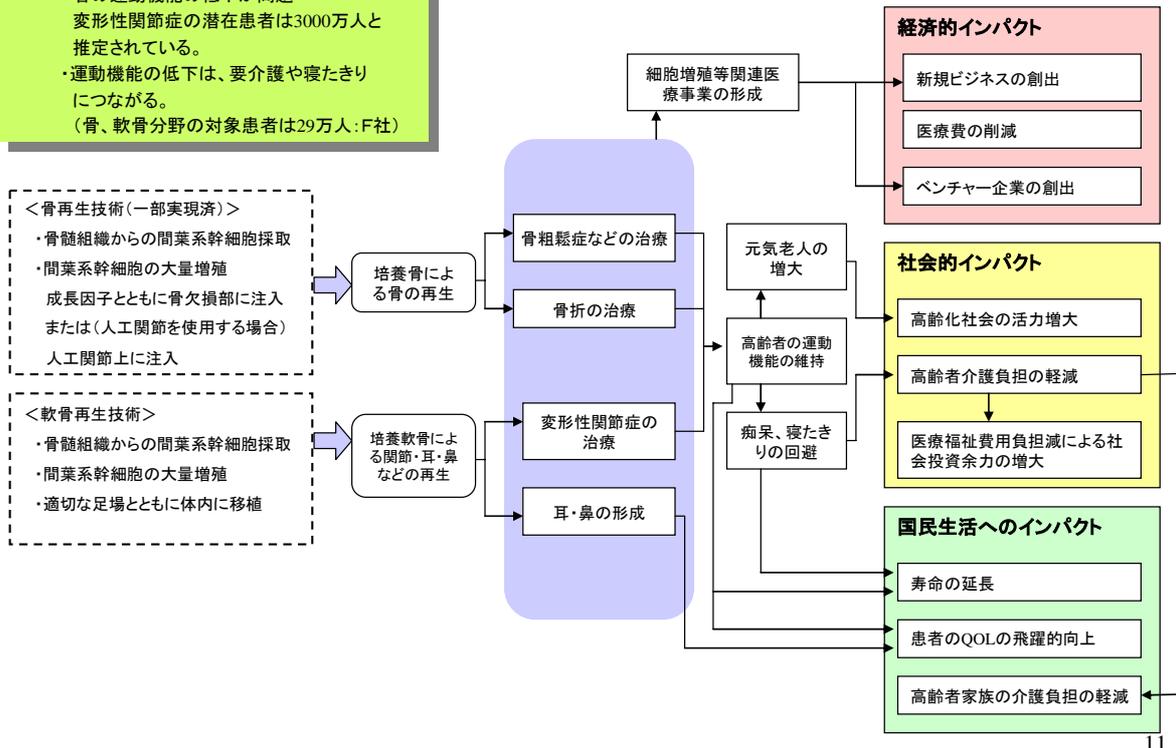


10

3. 技術のインパクト

(4) 骨再生分野における当該技術の利用とインパクト実現プロセス

背景 ・骨腫瘍や変形性関節症などにより高齢者の運動機能の低下が問題
変形性関節症の潜在患者は3000万人と推定されている。
・運動機能の低下は、要介護や寝たきりにつながる。
(骨、軟骨分野の対象患者は29万人:F社)



11

4. まとめ

■幹細胞を利用した再生医療技術は、世界で技術開発競争が非常に激しく展開されている。この中で、我が国はトップクラスにあるとはいえ、トップである米国とは差がある。

■当該技術は基礎研究の積み重ねが重要であり、大学や国立研究機関を中心とする公的研究開発が大きな役割を果たしてきた。特に、2000年から開始されたミレニアムプロジェクトでは研究資金の集中投資が行われ、これにより我が国の研究水準が世界に追いついたと言っても過言ではなく、世界をリードする分野もでてきた。

■当該技術は医療の様々な分野に関わる可能性を有している基盤的技術であるとともに、研究から臨床まで一体的に開発が進んでいるという特徴がある。
・同時にバイオ系ベンチャー企業との連携も盛んであり、今後大きな産業に発展する兆しがある。
・さらに、当該技術の応用により、患者本人のQOLの向上にとどまらず、寝たきりの回避、介護の軽減化などにもつながり、経済・社会および国民生活に幅広いインパクトを有している。

12

4. まとめ

(参考)指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

技術的課題

■当該研究が活発化したのは1990年代後半であり、非常に歴史が浅い。一部の幹細胞利用は医療現場で始まっているが、多くの幹細胞は分離技術、増殖・分化技術などで未成熟の部分がある。また、3次元の組織・臓器などの再生はより高度な技術であり、今後の研究余地は大きい。(公的研究機関・研究者)

全般的課題

■現在も世界で激しい研究開発競争が行われており、立ち止まると海外諸国に抜かれる可能性が大きい。諸外国同様国家戦略としての対応が必要である。(学識経験者)

■研究が世界水準である反面、実用化という面では日米欧の中で低い水準にある。近年韓国・中国なども力を入れておりアジア諸国にも負けている。(学識経験者)理由の1つに、良し悪しは別として実態として国による規制が強いことが挙げられる。臨床例を増やすことが技術進歩につながるため、臨床例の増大は必要である。(学識経験者、公的研究機関・研究者)

■再生医療の一方の推進役は医療系ベンチャー企業が多い。再生医療では、投資した資金を回収するまでの期間が長く、また、副作用の発生により企業が責任を問われる場合がある。一般に、ベンチャー企業は資本力などが脆弱であることから、安定的・戦略的な企業経営ができるような体制が必要である。(企業・役員)

13

4. まとめ

(参考)指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

戦略的・集中的な研究開発の推進の必要性

■研究面ではミレニアムプロジェクトなどで海外に追いついた。また、研究方法についても関西を中心に、名古屋や関東に研究拠点が形成され、研究者個人ではなくチームとして研究を進める体制が整ってきた。今後は、各拠点でチームプレーとしての戦略的な研究展開を進めていくことが必要である。また、研究予算についても、従来みられたばらまき型予算投下ではなく、拠点に対して集中的に投入することが必要である。(学識経験者、公的研究機関・研究者)

オリジナリティを求める研究と産業化を目指す支援の区分けの必要性

■これまでの公的研究開発は成果として論文になるようなオリジナリティ(新規性・独創性など)があるかどうかを採択・評価基準としてきた。早期の産業化を目指すには必ずしもオリジナリティにこだわらない研究開発支援も必要である。(企業・役員)

総合的・一体的な推進体制づくりの必要性

■一方でミレニアムプロジェクトや研究拠点形成(関西・名古屋・関東など)が進められても、産業化のためにルールがうまく敷かれていなかったり、知的所有権の保護が不十分、ベンチャー企業育成のための税制措置の弱さなどがあり、公的研究開発・支援が有効に働いていない面がある。(学識経験者)

■国家プロジェクトとしては研究だけでなく、再生医療を対象とした診療報酬体系整備や関連ベンチャー企業への税制優遇、相互扶助システムの確立など関連制度全般についての総合的対策、担当人員の増員による治験に関する行政手続きの迅速化や医療分野の特許制度の充実などの省庁の垣根を越えた一体的な推進体制を同時に構築する必要がある。(学識経験者、公的研究機関・研究者、企業・役員)

14

3-2 遺伝子操作による耐寒・耐乾・耐塩性作物の作出技術(ライフサイエンス)

(1) 事例分析に当たって

① 対象とした技術の概要

本事例分析では、当該技術を以下のように捉え、調査分析の対象とした。

- 環境ストレス耐性植物・作物のうち、耐寒・耐乾・耐塩性作物の作出技術。

② 調査方法および対象

本事例調査では、当該技術に関する有識者等へのヒアリング調査を主とし、さらに文献調査を実施した。

ヒアリング調査の対象を以下に示す。

- 公的研究機関(農業技術研究機構北海道農業研究センター、理化学研究所ゲノム科学総合研究センター)2名
- 学識経験者(近畿大学農学部)1名

(2) 技術動向

遺伝子操作による耐寒・耐乾・耐塩性作物の作出技術は、ストレス耐性を付与する遺伝子の単離、機能解析技術、遺伝子導入技術、遺伝子の発現制御と解析技術からなる。

これらの技術は、植物科学の発展とともに開発されてきた。1970年代後半、植物の遺伝子組換え技術や機能解析技術が発展した。1980年代後半にシロイヌナズナをモデル生物として研究が進められ、分子遺伝子学に進展をもたらした。1990年代には、イネゲノム解析研究が開始され、2000年代に入り、シロイヌナズナのゲノム配列が日米欧の国際協力により決定された。現在は、それに続くゲノム機能解析の段階へ研究が進みつつある。

このような状況の中で、1994年に世界に先駆けて理化学研究所で耐寒・耐乾・耐塩の遺伝子操作プロモータが発見され、1999年にはそれらの遺伝子機能制御技術(約40種類のプロモータ制御遺伝子)が発見された。この発見を契機に、国内外の大学、公的研究機関、企業では当該分野の研究が盛んになった。将来大きなインパクトが国内外ともに予想されるため、当該技術分野の基礎研究の段階では、複数の企業が研究に参加したが、遺伝子組換え作物の安全性と国民の理解不足が不確定要素として残るため、既にほとんどの企業が研究開発から撤退している。

遺伝子組換え作物全体で概観すると、1996年以降、世界の組換え作物栽培面積は急増し、2002年には約6千万haとなった。これらは、主に米国、アルゼンチン、カナダ、中国で栽培されている。主な作物は除草剤耐性ダイズ、害虫抵抗性トウモロコシ、除草剤耐性ナタネ等である。

(3) 公的研究開発・支援の位置付け

公的研究開発・支援は、公的研究機関(理化学研究所、農業技術研究機構北海道農業研究センター、国際農林水産業研究センター、農業生物資源研究所)を中心に研究開発が実施されている。主なものは以下の通りである。

(大学や公的研究機関における基礎研究の継続・蓄積)

- 1994年に世界に先駆けて理化学研究所で耐寒・耐乾・耐塩の遺伝子操作プロモータが発見され、1999年にはそれらの遺伝子機能制御技術(約40種類のプロモータ制御遺伝子)が発見された。
- ゲノムプロジェクトの一貫として、イネゲノムの解析(EST、Mapping、ゲノム配列、変異体、完全長cDNA解析)、有用遺伝子の単離と機能解明、DNAマーカー育種、技術の開発、ムギや野生イネを対象とした比較ゲノム研究が実施された。
- 未来開拓学術研究推進事業の一貫として、環境シグナルに対する植物の認識・応答機構、遺伝子工学的的手法を用いた物理的、化学的環境、ストレス耐性植物の開発、植物の生物ストレス応答の解析とその利用に関する基礎研究が実施された。
- ミレニアムプロジェクトの一貫として、イネ・シロイヌナズナ等のゲノムの解析、機能性作物・食品等の開発(疫病の予防、健康維持)、消費者の疑問や要請に応える試験・実験と遺伝子組み換え食品等に関する

情報提供の仕組みの構築が行われた。

(産学官連携によるナショナルプロジェクト)

- NEDO の「植物の多重遺伝子導入技術開発」(1999 年度～2003 年度)において、植物の環境ストレス耐性向上技術の開発、植物への多重遺伝子導入技術および発現制御技術の開発が行われ、基盤技術が確立された。

(データ整備・データベース構築)

- 文部科学省委託事業「新世紀重点研究創生プラン(RP2002)」(2002 年度～)において、ナショナルバイオリソースプロジェクト(シロイヌナズナ、イネ、コムギ、DNA 等の生物遺伝資源の体系的な収集、保存、提供体制の整備)が実施され、研究基盤が確立された。

インパクトアンケート調査結果によると、当該技術に対する公的研究開発・支援の寄与度合いが「大」もしくは「中」と回答した割合は 78%と大きい。特に、基礎研究段階で公的寄与が大きい。また、寄与の形態としては、公的研究開発が「大」、「中」と回答したものが 87%であった。

(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

当該技術は、企業においては、耐寒、耐乾、耐塩性の遺伝子組換え作物の作出技術の応用開発がなされ、遺伝子組換え作物の輸出・海外作出・販売がなされることが期待される。農家においては、遺伝子組換え作物の作出・販売が国内においてなされると期待される。その結果、以下の経済的、社会的、国民生活へのインパクトが期待されている。

- 経済的インパクト
 - 遺伝子組換え作物の作出技術輸出の拡大(海外の塩害、砂漠化の進展する国、地域への遺伝子組換え作物の作出技術の輸出)。
 - 海外における遺伝子組換え作物の作出・販売(イネについてはインパクトの実現は数十年先)。
- 社会的インパクト
 - 世界の食料不足時の食料供給力の向上(耐乾性付与技術の輸出により、アフリカ、中国等の乾燥地域に対して国際貢献できる。また、耐塩性付与技術の輸出により、アフリカ、中国、オーストラリア等の塩害に対して国際貢献できる)。
 - 日本の食料セキュリティの維持(諸外国に対して技術的に国際貢献することにより、日本への食料輸入を維持したり冷害等の悪天候時にも代替作物を確保できたりする関係を構築すること)。
- 国民生活へのインパクト
 - 将来起こると予想される食料危機への不安の軽減。
 - 安定した食生活の確保。

アンケート結果としては、経済、社会、国民生活へのインパクトいずれにおいても「大」、「中」で 60%～80%を占める。経済的インパクトが、「大」、「中」と回答したものは全体の 81%と比較的高い。ヒアリングによると、国内におけるインパクトよりも海外への技術輸出、生産・販売の経済的インパクトが大きいと指摘された。我が国の遺伝子組換え作物の生産には、住民の理解、技術の安全性等の不確定要素が多いため、社会的インパクト、国民生活へのインパクトがやや低い結果となったと解釈できる。

(5) 指摘された課題・今後の公的研究開発・支援のあり方等についての意見(参考)

- 当該技術分野では、研究から製品化までのリードタイムが長く、また、日本においては国民の遺伝子組換え食品への抵抗が強く、国民の理解を得られるかどうか不確定要素としてあるため、ほとんどの企業が研究を継続できず、90 年代に撤退した。しかし、この技術を使って海外で遺伝子組換え食品を生産することは可能であるため、国際貢献、食料セキュリティの観点からは、国は継続的に技術開発する必要がある。(公的研究機関・研究者)
- 大学では、研究を行い、重要な遺伝子を発見したとしても、論文発表するだけで終わってしまう。その技術を応用して作物を生産するところまで推進できない。海外では、大学で発見された研究成果をベンチャー企業等が生産を行ってくれる仕組みがあり、応用・開発段階では重要な役割を果たしている。日本にお

いても、公的研究機関がそのような施設を筑波等に設置し、ベルトコンベアーのように遺伝子組換え作物を作り、応用研究を推進する仕組みを用意すべきである。大学では、遺伝子の発見と生産したものの評価を行う役割が重要である。(学識経験者)

- 医療分野には多くの資金が国から配分されてきたが、植物分野には数十億円オーダーの資金しか配分されてこなかった。第3期科学技術基本計画では、食料危機の到来は重要な問題であるとの認識にたち、医療から植物の技術領域にいたるまでバランスよく投資すべきである。(学識経験者)
- イネゲノム予算の影響を受けて、当該技術分野の予算も増大したが、イネゲノムプロジェクトが終了し、予算が減少した。このままでは、中国、韓国に技術力で追い抜かれる可能性がある。(公的研究機関)
- 日本は食料自給率が低いため、世界が食糧危機に直面した時に食料輸入ができなくなり、危機的状況に陥る可能性がある。そのため、日本は新しい品種をつくり、海外に技術輸出して、世界の砂漠化、耕地面積の縮小等の問題解決を行い、国際貢献していかなければならない。(学識経験者)
- 国は基礎研究のサポートに加え、産学連携のサポートも同時に行うべきである。(公的研究機関・研究者)

1. 技術動向

(1) 遺伝子操作による耐寒・耐乾・耐塩性作物の作出技術の概要

環境ストレス耐性・植物・作物の作出技術及び周辺技術	現状
<p>○ストレス耐性を付与する遺伝子の単離、機能解析技術</p> <p>耐寒、耐乾、耐塩性に関する機能遺伝子群とその調節遺伝子群を分子生物学的方法や分子遺伝学的方法を用いて単離できる。分子生物学的手法には、cDNAライブラリースクリーニング法とディジェネレーションPCR法がある。分子遺伝学的方法には、突然変異体の作製と選抜に基づく古典的方法があるが、近年、シロイヌナズナやイネゲノム解読終了により、実験の加速がなされた。</p>	<p>○遺伝子の単離・機能解析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・シロイヌナズナ(モデル実験植物) ・カウビー(乾燥耐性なマメ科作物) ・イネ(耐塩性) <p>○研究対象としては、シロイヌナズナ、トマト、イチゴ、トウモロコシ、コムギ、ナタネ、イネにおいて応用研究が開始</p>
<p>○遺伝子導入技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・物理的方法(エレクトロポレーション法、マイクロインジェクション法、レーザーマイクロインジェクション法等がある) ・アグロバクテリウム法(シロイヌナズナ)の場合はフローラルディップ法、インフィルドレーション法等がある) ・多重遺伝子導入(MATベクターシステム等がある。) ・葉緑体への遺伝子導入 	
<p>○遺伝子の発現制御と解析技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・発現強化、発現抑制、安定発現、必要な時に発現させる技術 ・DNAマイクロアレイ技術(過剰発現・発現抑制させた目的遺伝子が与える遺伝子発現の影響を網羅的に調べる技術) 	

(出所)「植物分子細胞生物学」(声原担、作田正明共編、オーム社)よりMRI作成

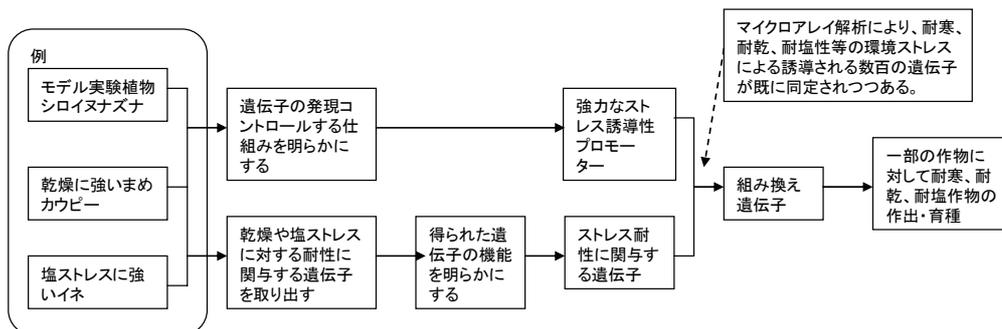


図 耐寒、耐乾、耐塩性の分子機構の解明と分子育種への応用への流れ (出所)「細胞工学Vol.21, No.12 2002年12月号」よりMRI作成

1

1. 技術動向

(2) 遺伝子研究を基礎とする植物科学の発展の歴史

1950-60年代	分子生物学による生物学の革命
1970年代	遺伝子組換え技術による生物学の革命
1970年代後半	植物への遺伝子組換え技術、機能解析の発展
1980年代後半	モデル生物(シロイヌナズナ)を用いた分子遺伝学的发展 葉緑体ゲノムの配列決定(名古屋大学、京都大学、1986年)
1990年代前半	イネゲノム解析研究開始 EST, Mapping, ゲノム配列、変異体、完全長cDNA解析開始 (農水省、生物資源研究所、農林水産先端技術研究所、1991年) ミトコンドリアゲノムの配列決定(京都大学、1992年) 光合成細菌ゲノムの配列決定(かずさDNA研究所、1995年)
1990年代後半	モデル生物でのゲノム科学の発展
2000年代	ヒト、イネなど各種の巨大ゲノム構造解析、機能ゲノム科学の発展 シロイヌナズナのゲノム配列決定 (日米欧の国際協力、かずさDNA研究所は27%決定、2000年) シロイヌナズナのゲノム機能解析(理化学研究所、かずさDNA研究所) イネゲノムの精密解読(農水省、生物資源研究所) ミヤコグサゲノム解読(かずさDNA研究所) 原始紅藻ゲノム(国立遺伝学研究所、立教大学など)

(出所)理化学研究所の資料よりMRI作成

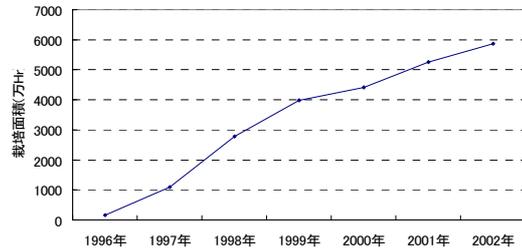
2

1. 技術動向

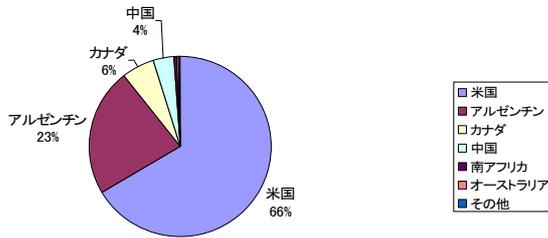
(参考) 世界の遺伝子組換え作物の栽培状況

1994年、米国で「日持ちが良いトマト」が初めて商品化され、1996年から、組換え作物の商業栽培が世界的に本格化しその後急増。
 2002年の時点で、世界の組換え作物の栽培国は16カ国で、その総面積は計5870万ha。このうち、米国が約6割で、米国、アルゼンチン、カナダ、中国の主要4カ国で全体の99%を占める。
 作物別には、除草剤耐性ダイズ及び害虫抵抗性トウモロコシの2つが主要なもの。
 日本は、日本での作付面積の3倍以上を世界で栽培している。

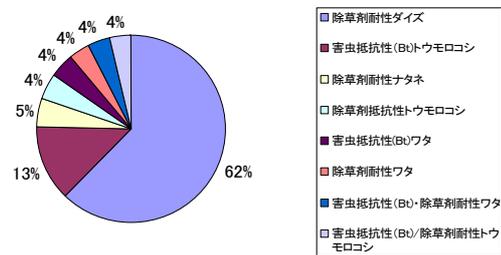
世界の組換え作物栽培面積



各国の組換え作物栽培面積(58.7百万Hr, 2002年)



世界で栽培されている主要な組換え作物(58.7百万Hr, 2002年)

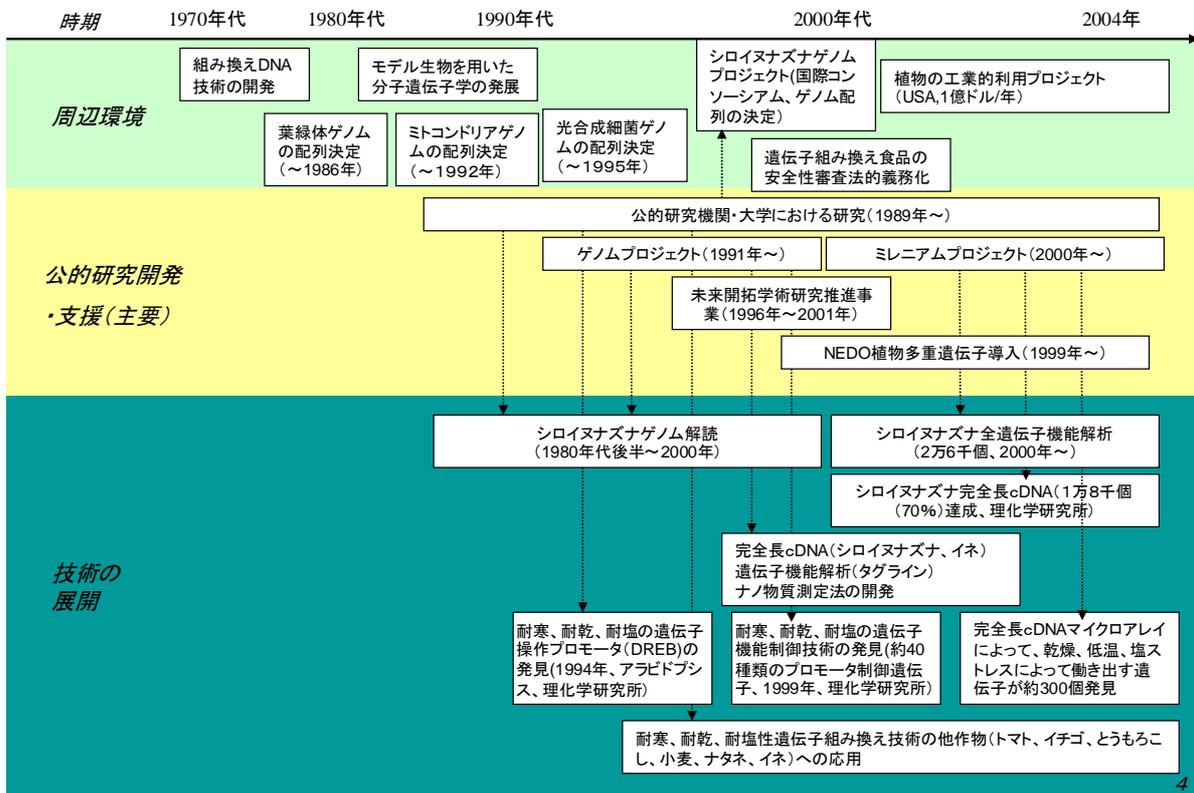


(出所) 農林水産省資料

3

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(1) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け



4

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(2) 技術開発への公的研究開発・支援の寄与内容等

■耐寒・耐乾・耐塩性作物の作出技術に関する公的寄与は、公的研究機関における基礎研究での発見が重要であった。その後、いくつかのプロジェクトで公的研究機関、大学、技術研究組合で基礎～応用の研究が複数の作物を対象に進められている。

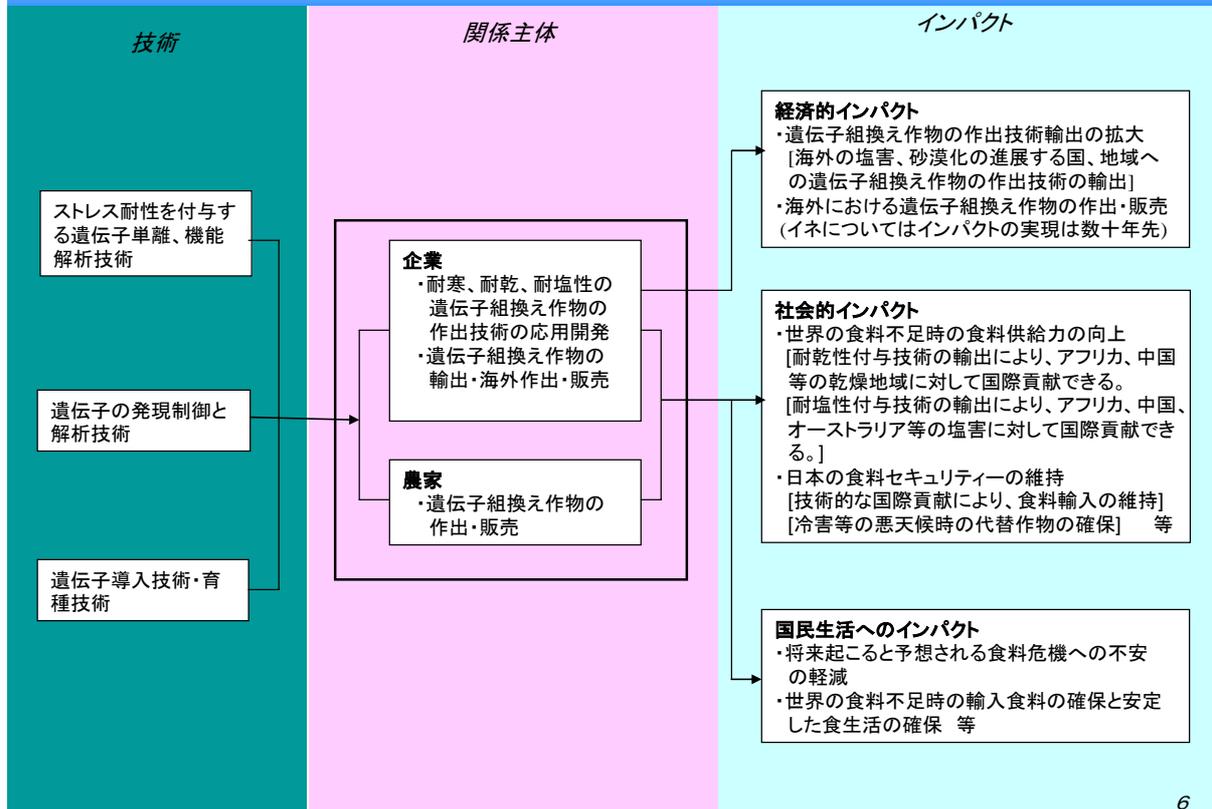
(遺伝子操作による耐寒・耐乾・耐塩性作物の作出技術)

公的研究開発・支援	寄与の対象	寄与の形態・内容等(主要例)
公的研究機関における研究(1989年～) 理化学研究所、農業技術研究機構北海道農業研究センター、国際農林水産業研究センター 等	・シロイヌナズナの耐寒、耐乾、耐塩の遺伝子操作プロモータ、遺伝子機能制御技術 ・他の作物への上記技術の応用研究	基礎研究の段階 ・耐寒、耐乾、耐塩の遺伝子操作プロモータの発見、遺伝子機能制御技術の開発への寄与 ・耐寒、耐乾、耐塩の遺伝子機能制御技術の他の作物への応用研究の進展に寄与
ゲノムプロジェクト(1991年～) 農林水産省、農業生物資源研究所、(社)農林水産先端技術研究所 等	・イネゲノムの解析(EST, Mapping, ゲノム配列、変異体、完全長cDNA解析) ・有用遺伝子の単離と機能解明、DNAマーカー育種技術の開発、ムギ、野生イネを対象とした比較ゲノム研究	基礎研究の段階 ・農林水産・食品分野における先端技術に関する研究を実施するために農林水産先端技術研究所が設置され、共同研究体制の構築に寄与
未来開拓学術研究推進事業(1996年～2001年) 東京大学、九州大学、京都大学 等	・環境シグナルに対する植物の認識・応答機構 ・遺伝子工学的手法を用いた物理的、化学的環境ストレス耐性植物の開発 ・植物の生物ストレス応答の解析とその利用	基礎研究の段階 ・新規有用遺伝子およびプロモータの発見に寄与 ・環境変化に強い作物の分子育種特定環境刺激で誘導可能な有用遺伝子による分子育種技術の進展に寄与 ・ベタインアルデヒド添加によるイネの耐塩性の強化に寄与
ミレニアムプロジェクト(2000年～2004年を目標) 農業生物資源研究所、理化学研究所、筑波大学遺伝子実験センター、奈良先端科学技術大学院大学 等	・イネ・シロイヌナズナ等のゲノムの解析 ・機能性作物・食品等の開発(疫病の予防、健康維持) ・消費者の疑問や要請に応える試験・実験と遺伝子組み換え食品等に関する情報提供の仕組みの構築	基礎研究の段階 ・ゲノム等の基盤データベースの構築に寄与
NEDO「植物の多重遺伝子導入技術開発」(1999年～2003年) (年間約5億円) バイオテクノロジー開発技術研究組合、地球環境産業技術研究機構、三重大学 等	・植物の環境ストレス耐性向上技術の開発 ・植物への多重遺伝子導入技術及び発現制御技術の開発	基盤技術の確立 ・耐環境性を向上させた遺伝子組み換え植物作成の基盤技術の確立に寄与 ・調節遺伝子を含め、複数の遺伝子を凍結・導入する基盤技術の確立の寄与 ・耐環境性に関する遺伝子を解析・単離する基盤技術の確立に寄与
文部科学省委託事業「新世紀重点研究創生プラン(RR2002)」(2002年～) 国立遺伝学研究所、理化学研究所、大学等	・ナショナルバイオリソースプロジェクト(シロイヌナズナ、イネ、コムギ、DNA等の生物遺伝資源の体系的な収集、保存、提供体制の整備)	研究基盤の確立 ・バイオリソース収集・保存・提供の中核機関の構築に寄与 ・約25万個のリソースを保有し、世界36カ国の800研究室を超えるユーザーにサービス提供として寄与

5

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

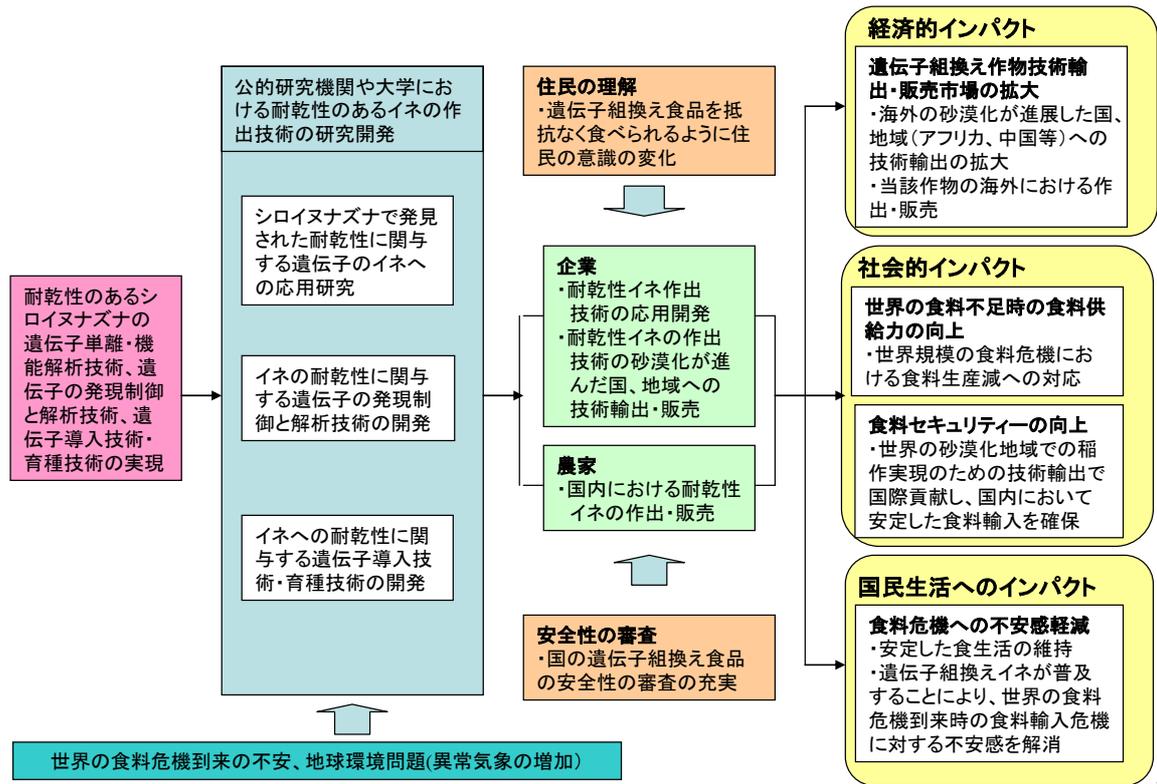
(1) インパクト実現プロセス



6

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

(2) 遺伝子操作による耐寒性イネの作出技術のインパクト実現プロセス



7

4. まとめ

- 遺伝子操作による耐寒・耐乾・耐塩性作物の作出技術は、これらの環境ストレス耐性を付与する遺伝子の単離・機能解析技術、遺伝子導入技術、遺伝子の発現制御と解析技術から構成される。この中で耐寒・耐乾・耐塩性にかかわる遺伝子及び機能制御技術は、シロイヌナズナというモデル植物を用いて、世界に先駆けて日本の公的研究機関で発見・開発された。
- 世界の単位面積あたりの穀物生産量はすでに頭打ちになっており、2015年には食料危機になると予想される中、1994年の理化学研究所によるシロイヌナズナの耐寒・耐乾・耐塩の遺伝子操作プロモータの発見を契機に、国内外の大学、公的研究機関、企業では当該分野の研究が盛んになった。当該分野の研究費は、1991年からのゲノムプロジェクト、2000年からのミレニアムプロジェクト等の影響を受けて増加した。シロイヌナズナゲノム解読が達成され(2000年)、機能解析、完全長cDNAの解析等の研究基盤が確立されつつあり、その結果、今後は技術開発が加速されることが予想される。
- 公的研究開発・支援は、主に理化学研究所、農業技術研究機構等の公的研究機関や大学における基礎研究及び基盤技術・研究基盤の確立であった。現在、当該研究分野は応用研究のフェーズに入りつつある。将来大きなインパクトが国内外ともに予想されるため、当該技術分野の基礎研究の段階では、複数の企業が研究に参加したが、遺伝子組換え作物の安全性と国民の理解不足が不確定要素として残るため、既にほとんどの企業が研究開発から撤退した。今後は、より一層公的研究開発・支援が重要となってきた。
- 社会的インパクトとしては、世界の食料不足時の食料供給力の向上や食料セキュリティの向上が指摘される。また、国民生活へのインパクトとしては、将来起こる食糧危機への不安の軽減、世界の食料不足時の輸入食料の確保と安定した食生活の確保が指摘される。経済的インパクトとしては、海外の塩害、砂漠化の進展した国や地域への遺伝子組換え作物の作出技術の輸出や海外における遺伝子組換え作物の作出・販売が期待されるが、イネについては、遺伝子組換え作物の安全性と国民の理解不足が不確定要素として残るため、インパクトの実現は数十年先となると予想される。
- 世界では、耐寒・耐乾・耐塩性作物の作出技術のニーズは極めて高い。食料自給率の低い日本にとって、このような国際的にインパクトのある遺伝子操作技術開発研究を継続することには、食料セキュリティ面で極めて重要である。多くの企業が当該技術分野の研究開発から撤退した状況を踏まえると、当該技術分野に対する公的研究開発・支援は、国の食料セキュリティ面で今後さらに重要性が増すことが予想される。

8

4. まとめ

(参考) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

- 当該技術分野では、研究から製品化までのリードタイムが長く、また、日本においては国民の遺伝子組換え食品への抵抗が強く、国民の理解を得られるかどうかの不確定要素としてあるため、ほとんどの企業が研究を継続できず、90年代に撤退した。しかし、この技術を使って海外で遺伝子組換え食品を生産することは可能であるため、国際貢献、食料セキュリティの観点からは、国は継続的に技術開発する必要がある。(公的研究機関・研究者)
- 大学では、研究を行い、重要な遺伝子を発見したとしても、論文発表するだけで終わってしまう。その技術を応用して作物を生産するところまで推進できない。海外では、大学で発見された研究成果をベンチャー企業等が生産を行ってくれる仕組みがあり、応用・開発段階では重要な役割を果たしている。日本においても、公的研究機関がそのような施設をつくば等に設置し、ベルトコンベアーのように遺伝子組換え作物を作り、応用研究を推進する仕組みを用意すべきである。大学では、遺伝子の発見と生産したものの評価を行う役割が重要である。(学識経験者)
- 医療分野には多くの資金が国から配分されてきたが、植物分野の研究開発には数十億円オーダーの資金しか配分されてこなかった。第3期科学技術基本計画では、食料危機の到来は重要な問題であるとの認識にたち、医療から植物の技術領域にいたるまでバランスよく投資すべきである。(学識経験者)
- イネゲノム予算の影響を受けて、当該技術分野の予算も増大したが、イネゲノムプロジェクトが終了し、予算が減少した。このままでは、中国、韓国に技術力で追い抜かれる可能性がある。(公的研究機関・研究者)
- 日本は食料自給率が低いため、世界が食料危機に直面した時に食料輸入ができなくなり、危機的状況に陥る可能性がある。そのため、日本は新しい品種をつくり、海外に技術輸出して、世界の砂漠化、耕地面積の縮小等の問題解決を行い、国際貢献していかなければならない。(学識経験者)
- 国は基礎研究のサポートに加え、産学連携のサポートも同時に行うべきである。(公的研究機関・研究者)

3-3 垂直磁気記録技術(ハードディスクドライブ用)(情報通信)

(1) 事例分析に当たって

① 対象とした技術の概要

本事例分析では、当該技術を以下のように捉え、調査・分析の対象とした。

- 記録方式としての垂直磁気記録技術。
- 垂直磁気記録方式に応じた記録媒体、記録ヘッド、再生ヘッド等周辺技術。

② 調査方法および対象

本事例調査では、当該技術に関する有識者等へのヒアリング調査を主とし、さらに文献調査・統計データ分析を実施した。

ヒアリング調査の対象を以下に示す。

- 学識経験者(東北大学電気通信研究所教授・助教授)4名
- 企業(総合電機メーカー)2名

(2) 技術動向

現在のハードディスクドライブ(以下、HDD)は、記録媒体に対して水平な磁化方向を持つ磁性粒子にデータを記録する面内磁気記録技術方式を採用している。記録媒体の記録層は、この粒子を敷き詰めた構造をしており HDD の面記録密度を高めるためには、粒子の体積を小さくしていく必要がある。

1970年頃、1Mビット/in²であった面記録密度は、その後の面内磁気記録技術の研究開発により、年平均成長率が25%から100%に高まり、2002年には50Gビット/in²にまで上昇した。

しかし、粒子の細分化は、熱による磁化反転(所謂、熱揺らぎ現象)を発生させ、記録データを消滅させる可能性があるため、面内磁気記録技術方式は物理的限界があると言われている。

一方、垂直磁気記録技術方式は、記録媒体に対して垂直の磁化方向を持つ粒子を使用しており、高密度化のために底面積を狭めても厚みを増せば体積が拡大することから、熱揺らぎに強い特徴がある。このことから、面記録密度 150G ビット/in²を境に、面内磁気記録技術方式から垂直磁気記録技術方式へ転換が進むとみられている。

垂直磁気記録技術は、1976年に日本で発明されたものであり、情報ストレージ技術開発の一環として、当初は大学が中心となって研究が進められた。1990年代に入り米国が国策としてストレージ関連企業の育成を標榜、これに危機感を持った国内ストレージ産業界が、情報ストレージ技術を効果的に研究・開発する事を目的として SRC(情報ストレージ研究推進機構)を設立、これにより垂直磁気記録技術の研究・開発も大きく進展した。垂直磁気記録技術は、10数年に及ぶ研究の積み重ねが重要であり、産業界は継続的に、大学との交流・人材育成・技術開発を行う等、大きな役割を果たしてきた。

HDD 市場における日本のストレージ技術は水準が高く、3.5 インチ市場では、製品としてのシェアは米国が高いものの主要部品は日本製が多く、部品製造技術等、要素技術は日本に帰属している。とりわけ、2000年代に入り HDD の小型・大容量化へのニーズが高まる中で、日本は2.5インチ以下の市場において圧倒的な強み(既存の面内磁気記録)を持っており、高密度化が可能となる垂直磁気記録技術および部品製造等、周辺技術の日本の水準は高いといえる。

(3) 公的研究開発・支援の位置付け

当該技術に対する公的研究開発・支援では 1976年の大学による発明が最も重要であり、その後、国内ストレージ産業界による SRC と大学との十数年に及ぶ研究の積み重ねにより発展した。公的資金による本格的な研究開発支援は2000年代に入ってからである。当該技術開発に寄与があったと指摘された公的研究開発・支援について、主なものを以下に示す。

(大学や公的研究機関での発明)

○ 大学における垂直磁気記録技術の発明(1976年)による技術シーズの提供。

(民間で実施される応用・実用化研究への資金提供)

- 超先端電子技術開発機構(ASET)「超先端電子技術開発促進事業」(旧通商産業省、1996 年度～2001 年度)は、垂直磁気記録技術方式による記録密度向上(40G ビット/in²)に成功した。また、垂直磁気記録技術の要素技術開発、プロジェクトを通じたメーカーへの資金提供を行った。
- 「超小型大容量ハードディスクの開発」(文部科学省、2002 年度～2004 年度)は、参加した大学、民間企業の技術開発連携(産学連携)にとって寄与が大きく、現在のところ有意義であると評価されている。具体的には、世界最高の記録密度 146G ビット/in²での記録再生の確認や、400G ビット/in²級の垂直磁気記録媒体の設計仕様を決定し、実現の可能性を理論的に提示する等の寄与があった。

(研究施設の整備)

- 「ナノ機能合成技術プロジェクト」(NEDO、2001 年度～2006 年度)は、世界最高分解能の磁気力プローブ顕微鏡(MFM)の開発に成功した。これによって、10nm 程度の磁気構造の観測が可能となり、次世代垂直磁気記録媒体の観察、性能評価を行う研究の推進に発展をもたらした。

インパクトアンケート調査結果では、公的研究開発・支援の寄与度合いは、大と中の合計が回答者の約33%と情報通信分野の平均と比較して小さい。ヒアリング調査においても同様の見解が得られている。

(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

垂直磁気記録技術によって、HDD の小型化・大容量化が可能となり、以下の利用領域で各インパクトを実現すると期待されている。

- 情報家電向け市場(携帯機器、ビデオ、カメラ、カーナビ、AV 機器等の新市場)。
- パソコン市場(ノートパソコン、デスクトップパソコン等の従来市場における HDD の小型化)。
- サーバ市場(従来市場における HDD の小型化)。
- 医療分野(新市場)。
- 経済的インパクト
 - 電気機器等の当該技術利用による超小型化、大容量化を通じた HDD 市場の拡大(情報家電機器の新市場の創出)。
- 社会的インパクト
 - 小型による電力消費量の削減。
 - モバイルインフラの整備(パーソナル用途に向くネットワーク接続可能な超小型大容量モバイルストレージの実現)。
 - 医療技術の向上による健康な長寿社会の実現。
- 国民生活へのインパクト
 - 小型電子機器、モバイル機器利用による利便性向上。
 - ユビキタス社会の実現を通じた人々の生活様式、行動様式の変革(場所、時間に対する概念の変化)。

インパクトアンケート調査結果では、経済へのインパクトが大きい(「大」および「中」との回答が、68%)との回答が特徴的である。国民生活へのインパクトについて、ヒアリング調査では、人々の生活様式、行動様式の変革という見解が得られているが、アンケート調査結果でもインパクトが「大」および「中」との回答が 48%と、半数近くになっている。

(5) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見(参考)

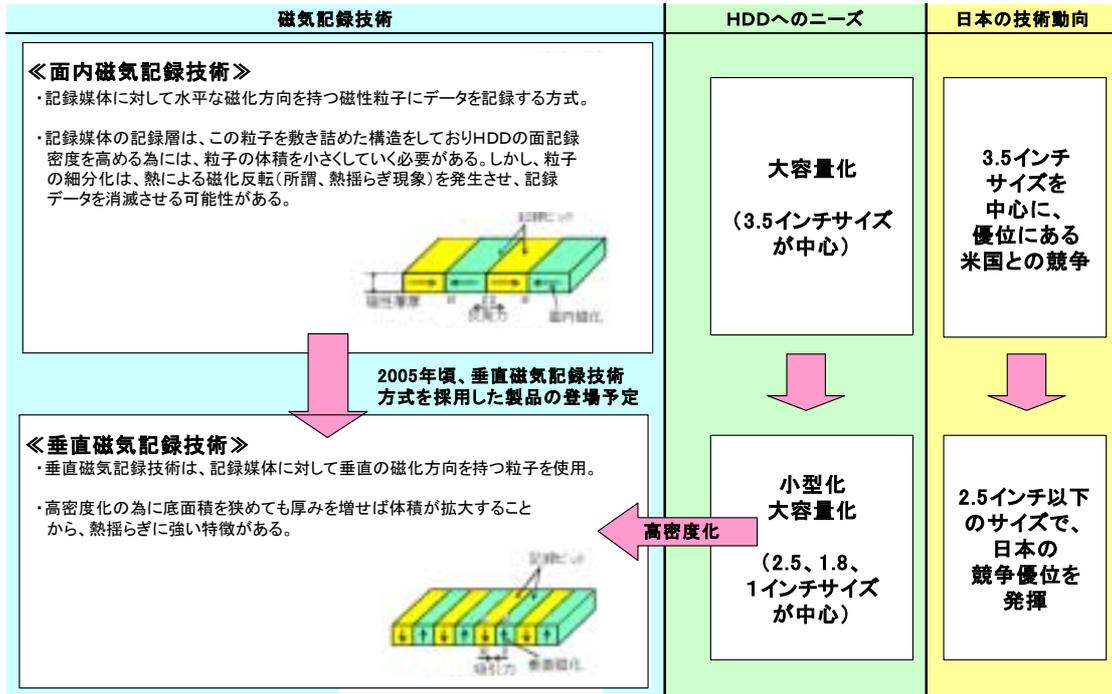
① 全般的課題

- 当該技術に対する企業投資は遅れた感があった。企業行動としては仕方ない面もあるが、国としては支援が必要であった。(学識経験者)
- 1990 年代に米国は、マッチング・ファンドによる資金提供、4～6ヶ所の主要大学への COE 設置、研究施設の充実等、国策としてストレージ関連企業を育成し、当該技術への研究開発・支援を進めた。それに対し、日本は産業界が研究資金を集めて大学側に資金提供、大学へ研究開発を委託する等、公的研究開発・支援は米国に比べて多くなかった。(企業・マネージャー)

- 人的基盤が弱い(大学で当該技術の実用的な利用経験が不足し、産業界で当該技術の人材不足が指摘される。また磁気記録に対し、ハイテクと思わず興味を持たない学生が多い)。(企業・マネージャー)
- ② **今後の研究開発・支援のあり方についての意見**
- 当該技術は、10 数年に及ぶ研究の積み重ねが重要であり、短期的な支援ですぐに市場が生まれる訳ではない。国には、これまでの研究開発のプロセスを把握したうえで、公的支援をゼロからの全く新しい分野に投入するのか、従来の殻を破る次の展望を作る分野に投入するのかを見極めて欲しい。(企業・マネージャー)
- HDD に関する技術は、年々難しくなっているため、短期的なものだけでなく、継続的な支援を期待する。(企業・マネージャー)
- 「人材」と「技術を日本の外に出さないで研究し続ける姿勢」の2点が大事であり、この2点が維持されれば、海外の低コスト化を脅威に感じることはない。むしろ、安い労働力、低コストのみを理由にして海外に展開する時代は終焉を迎え、これからはノウハウなど日本に戻すべきものを見極めることが大事である。(企業・マネージャー)
- 21 世紀、日本が「知(情報)」を蓄積・活用・発信できる国として、世界から尊敬されるためにも、ストレージ技術の高密度化に対して国をあげてバックアップして欲しい。(学識経験者)
- 当該技術に関し、日本は部品が強く高い製造技術を持っている。国の公的支援をもとに、産学連携をより進めて欲しい。(学識経験者)
- これまでは、大学の先生から当該技術に対する理解・知見の提供があった。今後は、当該技術だけでなく、次の技術を開発する技術、ガイディングを大学に期待したい。(企業・マネージャー)
- 大学に対して、製品化を意識したプロトタイプ製作ではなく、ブレイクスルーのために将来を見据えたチャレンジングな技術開発を期待する。(企業・マネージャー)

1. 技術動向

(1) 磁気記録技術について



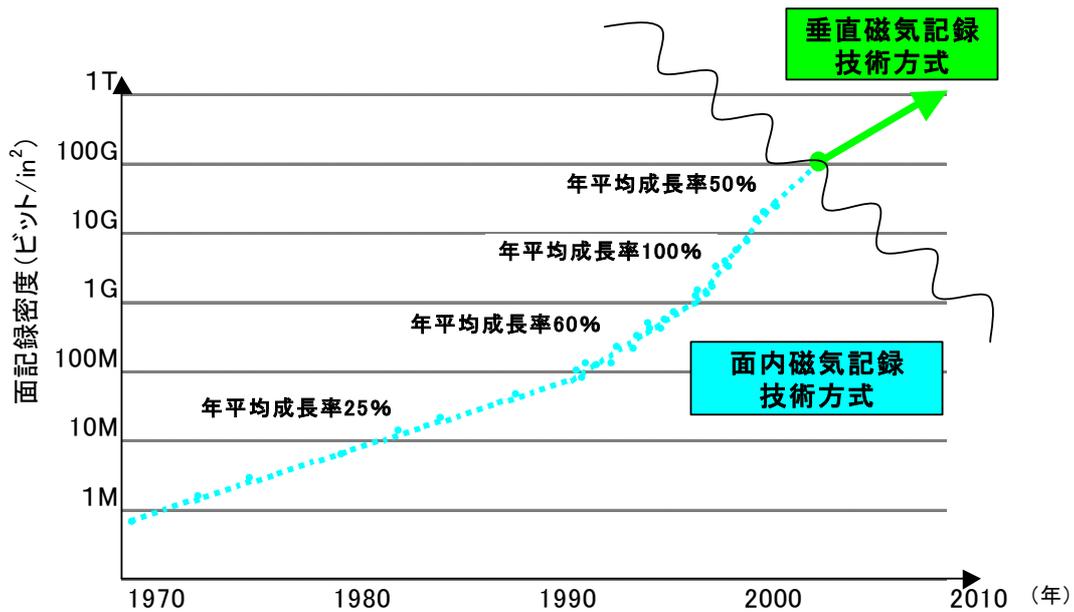
(出所)NHK資料よりMRI作成

1

1. 技術動向

(2) 面記録密度の進展(面内磁気記録技術、垂直磁気記録技術)

ハードディスクドライブ用として従来用いられてきた面内磁気記録技術方式が物理的限界に近づいた為、垂直磁気記録技術方式が面記録密度を高める方式として有力となる。



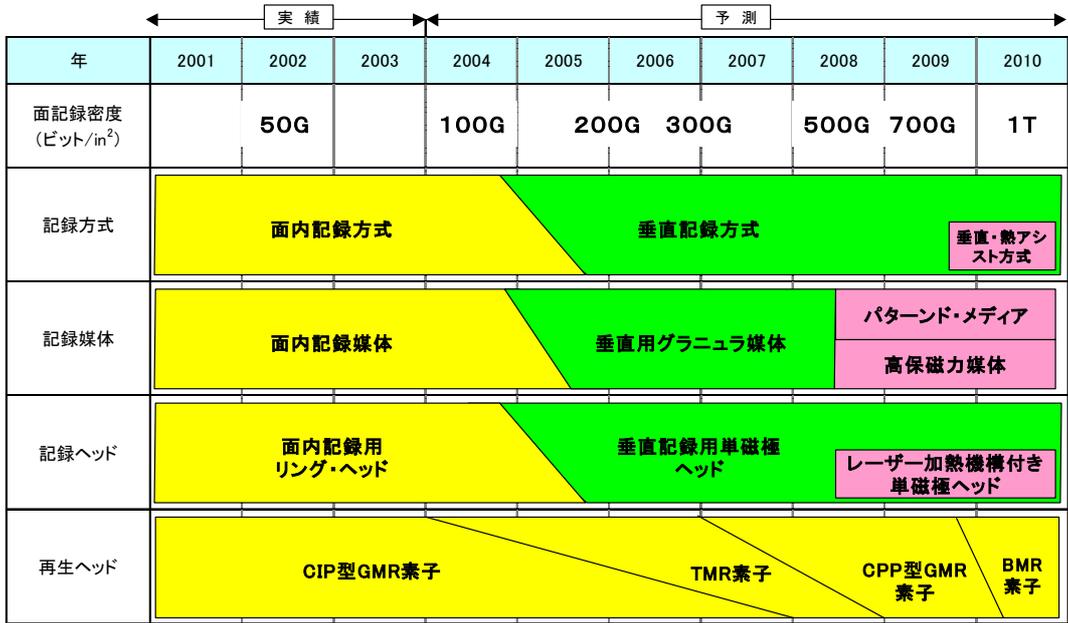
(出所)富士電機ストレージデバイス(株)HPよりMRI作成

2

1. 技術動向

(3) 磁気記録技術の開発ロードマップ

面内磁気記録から垂直磁気記録への転換は150Gbit/in²を境に進むとみられている。
面記録密度として、2010年に1Tbit/in²が期待されている。



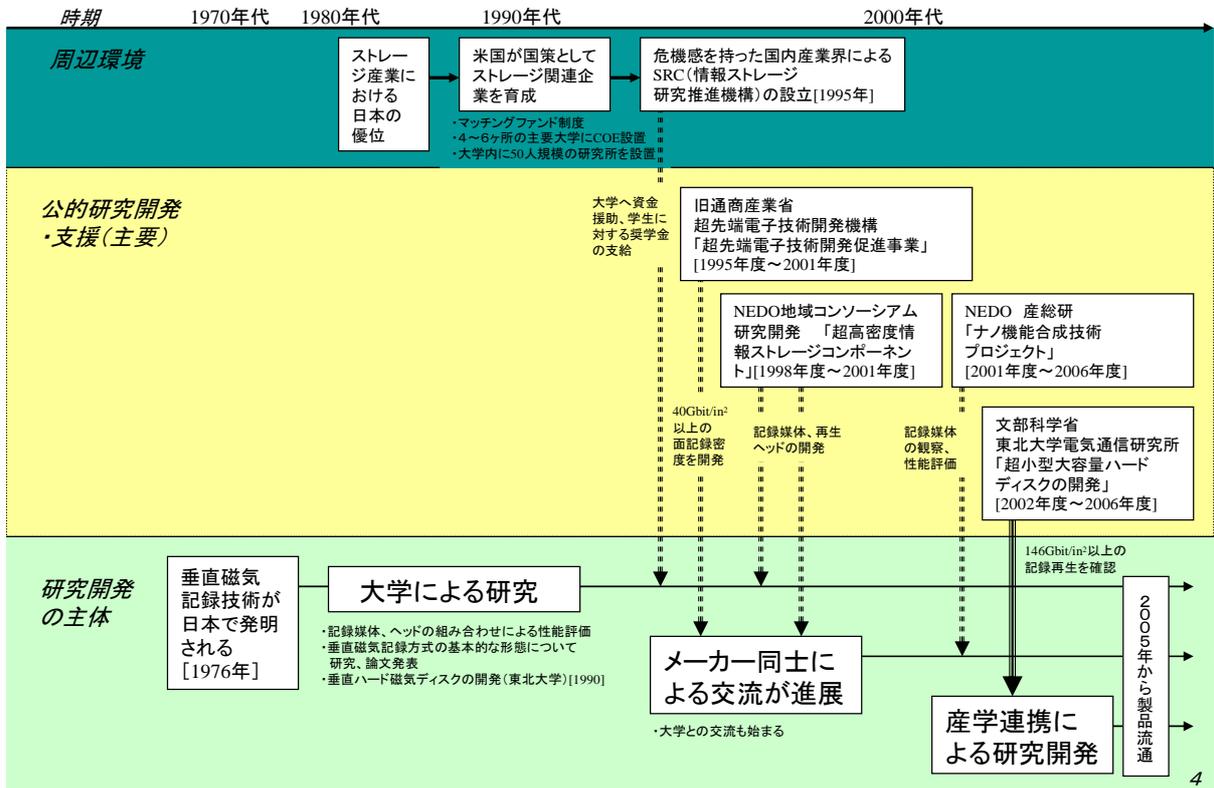
(出所) 富士電機ストレージ(株)HPよりMRI作成

* 2004年以降の面記録密度年平均成長率を50%とした場合

3

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(1) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け



4

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(2) 公的研究開発とSRC (情報ストレージ研究推進機構) について

公的研究開発・支援	委託大学・企業等	寄与の対象	寄与の形態・内容等(主要例)
大学による基礎的な研究活動	東北大学等	記録媒体、ヘッドの組み合わせによる性能評価	・垂直磁気記録方式の基本的な形態について研究、論文発表 ・垂直ハード磁気ディスクの開発
旧通商産業省 超先端電子技術開発機構(ASET) 「超先端電子技術開発促進事業」 [1996年度~2001年度](半導体、磁気記録、液晶の3プロジェクト合計で約190億円)	富士通、日立製作所、松下電器産業、日本電気、ソニー、東芝	磁気ストレージに関する技術開発 磁気メディア(目標面記録密度40Gbit/in ²) 磁気ヘッド(GMRヘッドの実用化)	面内磁気記録方式、垂直磁気記録方式の双方で、目標となる40Gbit/in ² 以上の面記録密度を開発。面内記録媒体やGMRヘッドが実用化された。
NEDO 地域コンソーシアム研究開発 「超高密度情報ストレージコンポーネント」 [1998年度~2001年度]	東北大学、岩手大学、ソニー、東洋鋼板、日本電産コパル、シチズン岩手、リコー光学、産総研東北センター	超高密度ハードディスクドライブのコンポーネントである、書き込み/読み出し可能な能動型時期ヘッドアーム・超高密度記憶媒体・高感度再生磁気ヘッドの開発	超高密度記憶媒体・高感度再生磁気ヘッド等の開発
NEDO 産総研 「ナノ機能合成技術プロジェクト」 [2001年度~2006年度] (2001年度は2.5億円)	産総研、富士通、エスアイアイ・ナノテクノロジー	ナノ構造・機能相關の設計・制御・評価技術 光機能合成ナノ材料技術 電子・スピン機能合成ナノ材料技術 分子機能合成ナノ材料技術	世界最高分解能の磁気カプロープ顕微鏡(MFM)の開発に成功(2004年)。10nm程度の磁気な構造物を観測することが可能になり、次世代垂直磁気記録媒体の観察、性能評価を行う研究が推進。
文部科学省 東北大学電気通信研究所 「超小型大容量ハードディスクの開発」 [2002年度~2006年度] (世界最先端IT国家実現重点研究開発プロジェクト) (2002年度は約4.4億円)	東北大学、日立製作所、日立グローバルストレージテクノロジーズ(2003年~)東芝、富士通、富士電機ストレージデバイス、三菱総合研究所	1Tbit/in ² 以上の記録密度、1ギガヘルツ以上の動作速度及び2キガビット/秒以上のデータ転送速度を持つ超高密度・超高速磁気ハードディスクの開発	記録媒体 世界最高の記録密度146Gbit/in ² での記録再生を確認。400Gbit/in ² 級の書き込み易く熱減磁しない垂直磁気記録媒体の設計仕様を決定し、実現の可能性を理論的に提示。 高出力単磁極ヘッド FeCo膜を用いた高い記録能力を持った単磁極ヘッドの作製。400Gbit/in ² 級の記録密度を目指した新規なサイドシールド型高分解能単磁極ヘッドを設計。

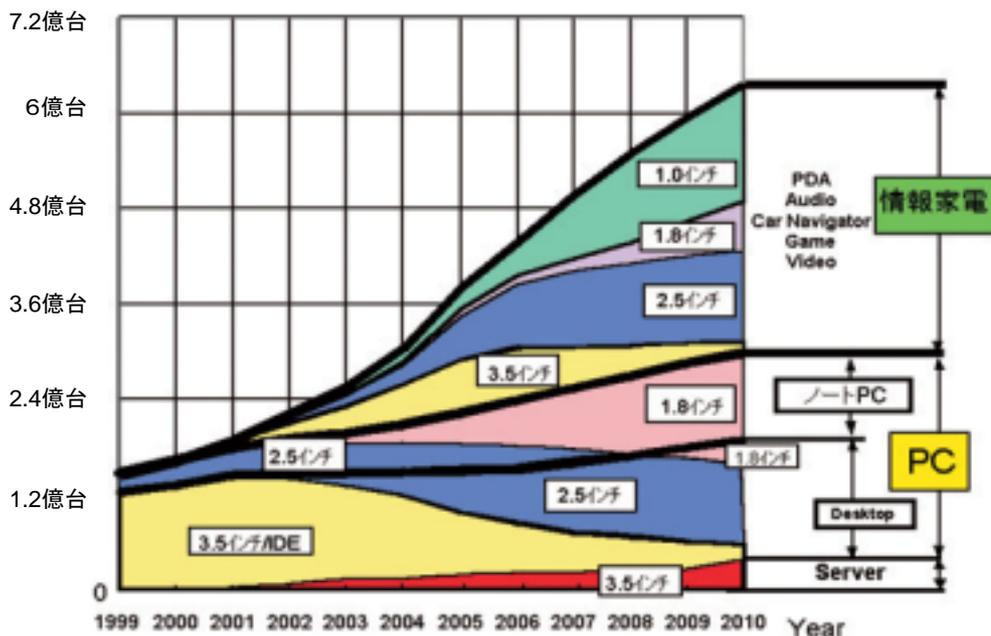
団体名	企業会員	事業内容
SRC (情報ストレージ研究推進機構) [1995年~] *情報ストレージ技術を産学共同で効果的に研究・開発することを旨として産業界が設立した非営利団体	日立グローバルストレージテクノロジーズ、東芝、富士通、富士電機ストレージデバイス、ハッチソン・テクノロジー・アジア・インク、アルプス電気、松下電器産業、マクストア・コーポレーション、マーベルジャパン、昭和電工、ソニー、T D K	産業界と大学・研究機関とが協力して以下の事業を推進 (1) 大学・研究機関における情報ストレージ関連技術研究への支援と助成 ・産業界が研究資金を集めて大学側に資金提供。予算総額は年間約1.4億円(40数名の先生に対して1人当たり180~300万円資金提供)。 (2) 大学の情報ストレージ関連分野の博士課程学生に対する奨学金の支給 ・予算総額は年間約1200~1300万円、毎年3~5人の学生が利用している。奨学金制度の導入により、ストレージ関係の人材を輩出 (3) 研究成果報告会(年2回)および技術部会毎の研究会の開催 (4) 600Gbit/in ² 記録密度実現に向けた技術ロードマップの作成[2003年~] (5) 2Tbit/in ² 超高密度記録を実現するための技術方式の探索[2003年~]

5

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

(1) HDD需要予測

HDDの小型・大容量化により、情報家電向け市場での利用が増加。
2005年以降は、垂直磁気記録技術方式へ転換されると予測される。

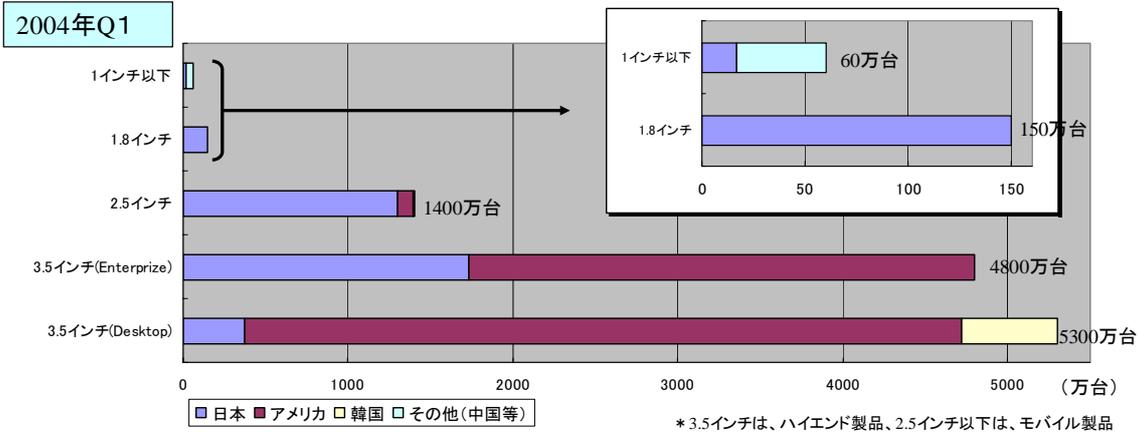


(出所)(株)日立グローバルストレージテクノロジーズHPを一部修正

6

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (2) HDD市場について

日本は1.8インチ、2.5インチでシェアの大半を占めており、競争優位を發揮。1インチ、3.5インチでは、HDD製品のシェアは小さくなるが、主要部品のシェアは大きい。



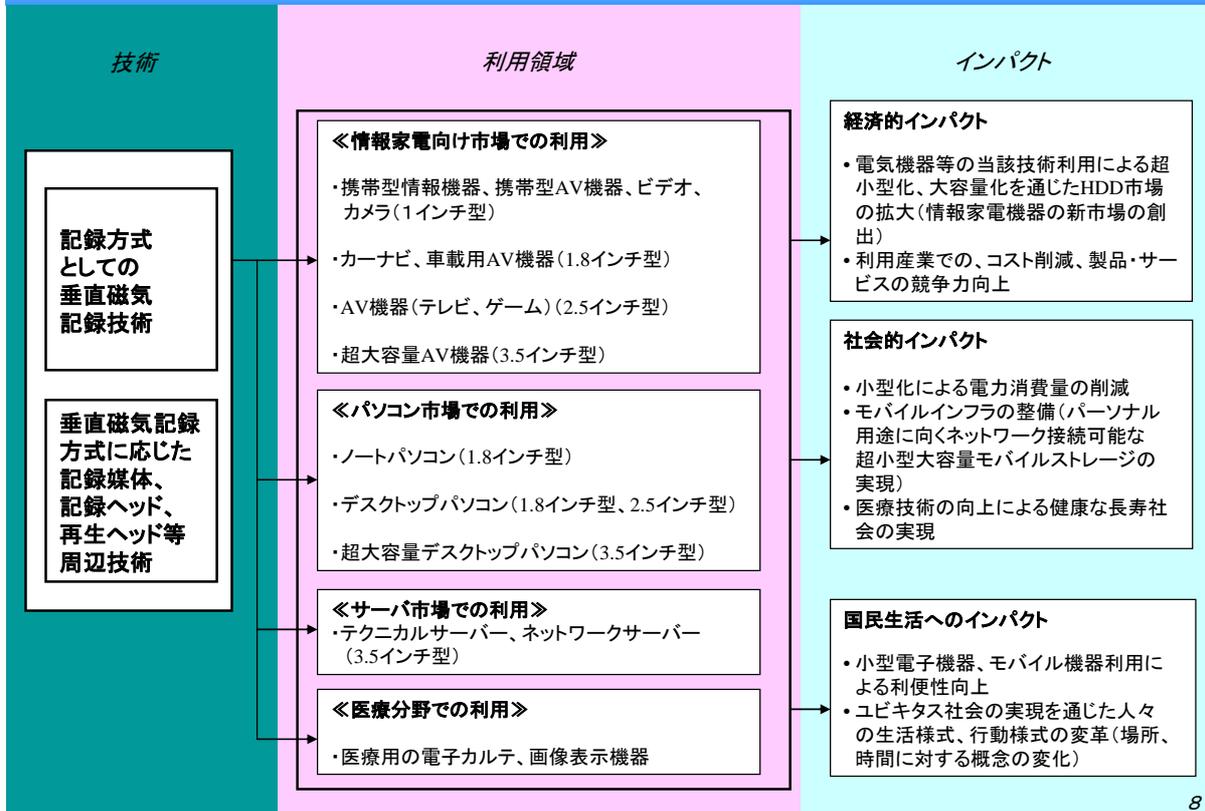
(注)HDD部品市場シェア(出所:エース証券、市場シェアは2003年10~12月期の数量ベース)

部品名	供給メーカー及び市場シェア等
スピンドルモータ	日本電産…62%、ミネベア…22%、松下電器産業…12%、日本ビクター…4%、(日本メーカー4社で100%)
コネクタ	航空電子…iPod向けコネクタは100%
磁気ディスク基板	ガラス…HOYA(1インチ、1.8インチHDD用ガラスディスクは独占)、昭和電工、コニカミノルタが主要メーカー アルミ…昭和電工
磁気ヘッド(GMR)	内製している米シーゲート・日立製作所・富士通・米ウエスタンデジタルの4社と、 OEMのTDK(34%)、アルプス電気(16%)の2社が供給

(出所)東北大学電気通信研究所資料よりMRI作成

7

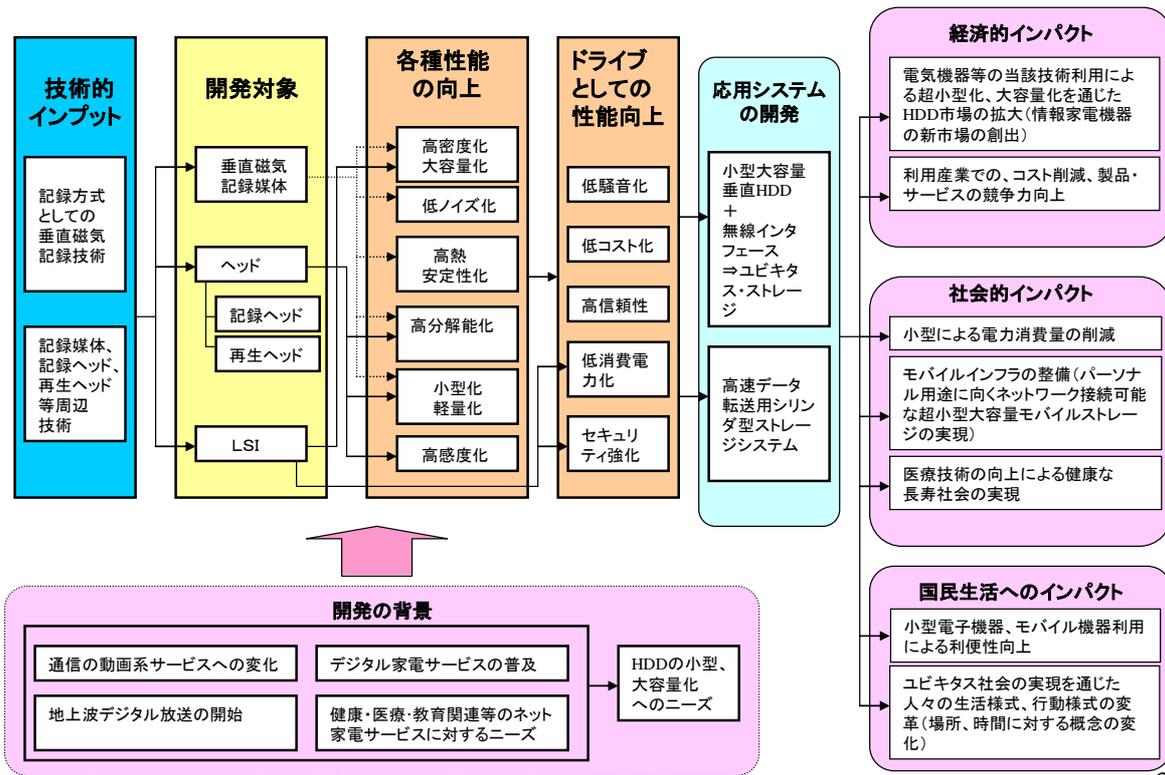
3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (3) 技術を起点とした各種インパクトと実現プロセス



8

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

(4) HDD市場における当該技術の利用とインパクト実現プロセス



4. まとめ

- HDD市場における日本のストレージ技術は水準が高い。3.5インチ市場では、製品としてのシェアは米国が高いものの、主要部品は日本製が多く、要素技術は日本に帰属している。近年、HDDの小型・大容量化へのニーズが高まる中で、日本は2.5インチ以下の市場において現在優位になっている。(既存の面内磁気記録)
- HDDの小型・大容量化が進む中で、従来の面内磁気記録にかわって垂直磁気記録が注目を浴びるようになった。本技術は日本で発明されたものであり、当初は大学が中心となって研究が進められた。1995年には、米国に危機感を持った国内ストレージ産業界が、情報ストレージ技術を効果的に研究・開発する事を目的としてSRCを設立。当該技術の研究・開発もSRC設立を機に大きく進展した。当該技術は10数年に及ぶ研究の積み重ねが重要であり、産業界は継続的に、大学との交流・人材育成・技術開発を行う等、大きな役割を果たしてきた。
- 当該技術に対する公的研究開発・支援は、大学および民間への研究開発資金提供、産学連携による研究開発等により、当該技術の進展に寄与したとみられる。
- しかし、本格的に公的研究開発が進められたのは2000年代に入ってからであり、国の支援は遅かったと考えられる。HDDに関する技術は年々難易度を増している為、今後は短期的なものだけでなく、継続的な支援が期待される。
- インパクトとしては、情報家電向け新市場を創出するなどHDD市場の拡大等(経済的インパクト)および、モバイルインフラの整備、医療の発達等(社会的インパクト)がある。国民生活へのインパクトとしては、ユビキタス社会の実現を通じた人々の生活様式、行動様式の変革が期待されている。

4.まとめ

(参考) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

①全般的課題

- 当該技術に対する企業投資は遅れた感があった。企業行動としては仕方ない面もあるが、国としては支援が必要であった。(学識経験者)
- 1990年代に米国は、マッチング・ファンドによる資金提供、4～6ヶ所の主要大学にCOEを設置、研究施設を充実させる等、国策としてストレージ関連企業を育成、当該技術への研究開発・支援を進めた。それに対し、日本は産業界が研究資金を集めて大学側に資金提供、大学へ研究開発を委託する等、公的研究開発・支援は米国に比べて多くなかった。(企業・マネージャー)
- 人的基盤が弱い(大学で当該技術の実用的な利用経験が不足し、産業界で当該技術の人材不足が指摘される。また磁気記録に対し、ハイテクと思わず興味を持たない学生が多い)。(企業・マネージャー)

②今後の研究開発・支援のあり方についての意見

- 当該技術は、10数年に及ぶ研究の積み重ねが重要であり、短期的な支援ですぐに市場が生まれる訳ではない。国には、これまでの研究開発のプロセスを把握したうえで、公的支援をゼロからの全く新しい分野に投入するのか、従来の殻を破る次の展望を作る分野に投入するのを見極めて欲しい。(企業・マネージャー)
- HDDに関する技術は、年々難しくなっているため、短期的なものだけでなく、継続的な支援を期待する。(企業・マネージャー)
- 「人材」と「技術を日本の外に出さないで研究し続ける姿勢」の2点が大事であり、この2点が維持されれば、海外の低コスト化を脅威に感じることはない。むしろ、安い労働力、低コストのみを理由にして海外に展開する時代は終焉を迎え、これからはノウハウなど日本に戻すべきものを見極めることが大事である。(企業・マネージャー)
- 21世紀、日本が「知(情報)」を蓄積・活用・発信できる国として、世界から尊敬される為にも、ストレージ技術の高密度化に対して国をあげてバックアップして欲しい。(学識経験者)
- 当該技術に関し、日本は部品が強く高い製造技術を持っている。国の公的支援をもとに、産学連携をより進めて欲しい。(学識経験者)
- これまでは、大学の先生から当該技術に対する理解・知見の提供があった。今後は、当該技術だけでなく、次の技術を開発する技術、ガイディングを大学に期待したい。(企業・マネージャー)
- 大学に対して、製品化を意識したプロトタイプ製作ではなく、ブレイクスルーの為に将来を見据えたチャレンジングな技術開発を期待する。(企業・マネージャー)

11

3-4 ユビキタス・ネットワーク(情報通信)

(1) 事例分析に当たって

① 対象とした技術の概要

本事例分析では、当該技術を以下のように捉え、調査・分析の対象とした。

- ユビキタス・ネットワークとは、「どこにいても、ネットワークや端末やコンテンツを自在に、意識せずに、ストレスなく安心して利用できるネットワーク環境」という基本コンセプトによる。
- ネットワーク構成としては、フレキシブルブロードバンド、センサネットワーク、プラットフォーム、テレポーテーション(端末間のデータの自動移動等)、エージェント、アプライアンスおよびコンテンツからなる。なお、このネットワークを利用するために、主に人が操作する PC や携帯電話だけでなく、人の利用を前提としない電子タグやアクチュエータ等の技術も必要になる。

② 調査方法および対象

- 本事例調査では、当該技術に関する有識者等へのヒアリング調査を主とし、さらに文献調査・統計データ分析を実施した。

ヒアリング調査の対象を以下に示す。

- 学識経験者(東京大学大学院教授、慶應義塾大学環境情報学部教授)2名
- 企業(通信事業者2社)3名

(2) 技術動向

ユビキタス・ネットワークは、既存の技術であるテレコム(固定電話、データ交換/専用線、携帯電話)とインターネットの融合により実現が期待される(携帯電話の多様なサービスは当該技術の萌芽的な実現との見方もある)。

固定電話網は従来のアナログから 1980 年代を前後してデジタル化が進み、1990 年代には N-ISDN(～64kbps)が導入された。データ交換/専用線は 1970 年代に始まった専用回線を基本として、1980 年代にはパケット技術が導入され、1990 年代には FR(フレームリレー)/ATM、2000 年代にはイーサネット/ファイバーと展開しつつある。

インターネットは 1960 年代末に始まるが、TCP から IPv4 を経て 1990 年代にはマルチキャスト・ブロードバンド化が進み、現在 IPv6 に向けた研究開発が進められている。2000 年代にかけては IP-VPN(仮想私設通信網)や VoIP 技術による固定電話やデータ交換/専用線との融合も進みつつある。

モバイルサービスは、1970 年代末よりアナログによる携帯電話として始まり、1990 年代にデジタル電話およびパケットによるデータ通信へと展開した。そして 2000 年代にはマルチメディア化が進んでいる。今後モバイルサービスは急速に拡大し、インターネットおよび固定電話やデータ交換/専用線と融合が進むと見られる(インターネットのモバイルディなど)。

これに加え電子タグ等の利用技術開発と、ユビキタス・ネットワークのための独自技術開発が 1980 年代末より進められている。

当該技術は日本の IT 政策における e-Japan 戦略とその発展形の u-Japan 戦略等に位置づけられ、公的支援も含めた活発な研究開発が進められている。日本は光ネットワーク・デバイスで強いとされるが、インターネット等のネットワーク技術全般は米国優位であり、米国、欧州や韓国等のアジアでも、大規模な国家主導プロジェクトによる研究開発がなされている。

(3) 公的研究開発・支援の位置づけ

当該技術開発に寄与があったと指摘された公的投資について、主なものを以下に示す。

(大学や公的研究機関での原理・現象の発見)

- 大学・公的研究機関等はモバイル通信技術に関する研究開発全般で寄与した。また、無線通信に関する基礎技術(アンテナ技術、品質評価等)や標準化に対しては学術的なアドバイスを実施した。さらに、大学等で開発された OS である「トロン」が携帯に組み込まれたり、ユビキタス・ネットワークへ応用されたりして

いる。

(実証試験)

- 「ユビキタス」関連プロジェクト(総務省、2003 年度～)では、分野横断的なユビキタス概念の構築・命名・普及への支援がなされた。また、メーカーへの資金提供により利用用途開発や実証試験、各種ネットワーク要素技術の開発(極めて多数の端末からのリアルタイム認証技術等)が行われた。

(標準化の支援・策定)

- 研究開発用ギガビットネットワーク構築・関連研究開発:JGN,JGN2(旧放送・通信機構、1999 年度～)では、メーカー間相互接続に関する標準化支援、およびフィールド実験のためテストベッド(オープンラボ)施設の整備が行われた。また、プロジェクトを通じたメーカーへの資金提供によって、光ネット連携プロトコル開発や接続性の検証が行われた。また、同プロジェクトでは、学術ネットワークの中で人材が融合し、IPv6 等の民間での技術開発の基礎となる人材が育成された。
- 電子タグ活用技術開発等(経済産業省、2003 年度～)では、電子タグ活用のための技術として、商品識別コードの国際標準化がなされた。また、メーカーへの資金提供により低価格化のための技術開発やユーザー業界ごとの実証試験が行われた。

インパクトアンケート調査結果では、公的研究開発・支援の寄与度合いは、「大」と「中」の合計が回答者の約40%強であり小さい。

(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

当該技術は、生活、消費、社会参加、環境、就労、文化・教育および医療・介護等、社会において幅広く用いられると期待される。

生活における利用としては、住居やオフィスの空調・照明等の好みに応じた自動コントロール、子供などの現在位置高精度確認および危険時のアラーム発信等が期待される。

消費においては、個人認証プラットフォームによる安全・簡易な購買・決済等に加え、看板、社内広告のみでなく、普段の生活行動においても、興味を惹かれたテレビ映像内の商品等に関連情報がリンクしたり購買できたりすることも期待される。

社会参加に関する利用としては、障害者等への街や住宅内の位置情報や周辺情報の提供や多数の一般者による所持端末での映像を含む情報の公開・交換も期待される。

環境においては、場所を問わないテレアクセスにより、人的移動に伴うエネルギーの低減や ID タグ等による効率的物流管理による環境負荷軽減等が期待される。

就労においては、ネットワーク上の認証のみで自分の業務環境をどこでも呼出し、利用でき、個人音声・映像のみでなくデータや録画映像等による遠隔会議等も期待される。

文化・教育においては、芸術作品や演劇・パフォーマンスの3次元・マルチアングルで、どこでも配信・鑑賞が可能となり、教室内外でリアルタイムに高い臨場感でインタラクティブな講義受講等が期待される。

医療・介護においては、血圧・体温等バイタルデータセンサを常時身につけ、医療機関とのネットワークで健康管理・予防・早期発見や携帯 IC カードによる受診・既往歴等の個人情報の救急時活用等が期待される。

これらの各分野での利用を通じて、当該技術は以下のインパクトの実現が期待されている。

- 経済的インパクト
 - ユビキタス関連市場の創造(2010 年:約 84 兆円)。
 - 日本産業全般の生産性・効率の向上による国際競争力強化。
 - 日本が当該分野で先導的な役割を果たすことで、世界の標準化の主導権を確保し、情報通信産業の競争力を強化。
 - 以上にとまなう雇用拡大効果・地域経済活性化。
- 社会的インパクト
 - エネルギー・環境問題への対応(各種効率向上によるエネルギー消費・環境負荷の低減)。
 - 障害者・高齢者の社会参加の促進(障害者・高齢者が不自由しない都市インフラのバリアフリー化や、適切な形での情報提供等)。

- 就労効率化・労働負荷軽減による高齢化社会対応等。
- 国民生活へのインパクト
 - 健康や食品品質管理等による保健向上。
 - むだの排除による、生活や就労のゆとりや利便性向上。
 - セキュリティー向上による安全・安心の向上。
 - 生活や余暇の快適性や楽しみの向上。
 - 創造性のある活動参加による生き甲斐向上。

インパクトアンケート調査結果では、各インパクトともいずれも大きいが大および中との回答がいずれも 80% 台)、中でも経済的インパクトと社会的インパクトが相対的に大きいと見られる。

(5) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見(参考)

① 全般的課題

- センサの標準化については、センサのデータとなる温度、明るさ等を同一の単位(bit のような)で表現し、標準をつくる必要がある。(学識経験者)
- 日本は当該分野ですでに世界標準への寄与が大きい。日本は関連メーカーが多く、まとまって対応し、産業利用の実績を示して世界標準の主導権を得ていくべき。(企業・研究マネージャー)
- アプリケーションが課題である。例えば電子タグについては、流通業者の他、病院での血液管理やビル管理等でも関心が持たれており、分野横断的な研究開発が望まれる。これに対して、国のプロジェクトはデバイスに偏っているとの危惧がある。(学識経験者)
- 当該技術は個人情報に踏み込むことになるので、情報開示とプライバシー保護の扱いが実現過程で、解決すべき課題となる。(企業・研究マネージャー)
- コンテンツ利用に当たっての制度整備が必要。コンテンツが複雑で管理者・関係者が多いとうまくいかないので、コンテンツ配信、デジタル知的所有権のマネジメント、オン・デマンド・サービスと端末などについて、制度整備を含めた障害克服が課題であり、国レベルでの対応が必要。(企業・研究マネージャー)
- 当該技術の利用のため、関連事業分野での既存の制度・規制等の見直しが必要。例えば、教育におけるネット単位の認定や、医療保険制度における対面診療の原則見直し等が考えられる。(企業・研究マネージャー)
- 普及促進のためには、社会の受け入れ側の認知が必要である。このため、特区等でのモデル事業による有用性検証が望まれる。特に、テストベッドをグローバルな視野で構築し、インターネットのように全世界に無料で解放することで、ユーザーの集積と技術の促進をはかることが重要である。これらに対する長期的・継続的な技術開発・支援が、国の産業政策の一環として実施されることが望まれる(現状のしくみでは、テストベッド等の初期整備費用の予算化に対して、維持・管理費の予算化が困難である)。(企業・研究マネージャー)

② 今後の研究開発・支援のあり方についての意見(当該分野)

- 標準化について、主体となるのは、企業や公的研究機関の研究者が望ましいが、企業も主導権を得るには、もっとリソースを割くべきであり、経営者もこれに積極的に関与することが望ましい。(学識経験者)
- 米国では軍がインターネットの研究に 20 年間投資を続けた結果、成功した。日本でも当該分野で成功するためには、米国のように国として公的投資を継続的に実施する必要がある。特に、コアとなる技術の基礎研究や基盤技術を、大学は長期的視野で取り組むべき(現状の、大学が産業ニーズにシフトする傾向の中で、コアとなる技術開発が見失われる危惧がある。特に、ポスト・インターネット(IP)の技術は未知であり、大学で研究すべき)。(企業・研究マネージャー)
- 当該分野では NTT が多くの研究開発を継続的に担ってきたが、競争環境が厳しくなり、今後は公的支援の重要性が高まる。また、産学連携も強化すべき。(学識経験者、企業・研究マネージャー)
- 固定電話も当初は国家事業として整備し、その後民営化した。ユビキタス・ネットワークも社会基盤インフラとして整備し、またインターネットのように無料(また低料金)で普及を図る意味で、国の関与の必要性がある。(企業・研究マネージャー)

- 技術的な課題は以下の通り。
 - 無線を使いこなす技術
 - 省電力化／軽量・小型化技術
 - セキュリティー／プライバシー保護技術
 - 膨大な数のものを管理するオペレーション技術(学識研究者)
- ③ 今後の研究開発・支援のあり方についての意見(科学技術一般)
- 科学技術基本計画では、多くの資金が投入されているが、どの程度の資金が必要かという一般論は危険である。公的投資は戦略マップを描き、それに従って技術へ投資すべき(外国と比較すると、日本は資金がかかりすぎているという印象があり、研究開発の実施そのものは良いが、質の向上が必要である)。(学識経験者)

1. 技術動向

(1) 技術概念 (ユビキタスネットワーク社会への潮流と基本コンセプト等)

ユビキタスネットワークに向けた潮流

- ・空間的・地理的制約からの解放
- ・通信能力の制約からの解放
- ・通信対象の制約からの解放
- ・ネットワークリスクからの解放
- ・ネットワーク、端末、サービスコンテンツの選択の制約からの解放

技術のトレンド

- ・ブロードバンド化の進展と多様化 (携帯電話普及、高速化[ADSL→FTTH]、デジタル化、通信と放送融合 等)
- ・ネットワーク技術 (IPv6、フォトニックネットワーク等)
- ・セキュリティ・認証技術 (汎用セキュリティ基盤アーキテクチャ等)
- ・デバイス技術 (ウェアラブルコンピューティング、大画面・超高精度等)
- ・ソフトウェア・アプリケーション技術 (リアルタイムOS等)

ユビキタスネットワーク

基本コンセプト	どこにいても、ネットワーク、端末、コンテンツを自在に、意識せずに、ストレスなく安心して利用できる
ネットワーク構成	<p>どこでもネットワーク：どこにいても、いつでもネットワークに繋がり、同一の通信サービス環境を自在に作れる</p> <p>何でも端末：パーソナルIDチップや非接触ICカード等で瞬時にどんな端末でも自分の端末になり、電子ペーパーや3Dバーチャル端末等の新形態の端末も利用できる。</p> <p>勝手にコンテンツ：好きなコンテンツや様々なサービスを多様な端末間 (通信端末からゲーム機器まで) で、自在に流通・利用できる。</p> <p>らくらくネットワーク：あらゆるメディアで超高速ネットワーク (100Mbpsクラス以上) をストレスなく利用できる。</p> <p>安心ネットワーク：リアルタイムで、様々なサービスを安心して利用できる。</p>

<日本>

- ・「e-Japan戦略」、
- ・「e-Japan重点計画」
- 等で活発な研究開発
- ・光ネットワーク・デバイスで強い

<インターネット等のネットワーク技術全般は米国優位>

<欧米でも国家主導プロジェクトとして産学官連携体制の下、研究開発を推進>

・欧州：第5次フレームワーク (ISTプログラム) [1999 ~ 2002年 約4160ユーロ]

・米国：LSNプロジェクト【予算：2002年度 約435億円 (334百万ドル)】等

<韓国での進展も大>

(出所) 総務省資料よりMRI作成 1

1. 技術動向

(2) 技術の詳細 (ユビキタスネットワーク構成と主要機能の将来イメージ)

ユビキタスネットワーク

どこにいても、ネットワーク、端末、コンテンツを自在に、意識せずに、ストレスなく安心して利用できる

ユビキタス・フレキシブルブロードバンド

あらゆるメディアで超高速ネットワークを数百万人が同時に利用でき、ストレスのない柔軟な通信環境を実現

ユビキタス・センサーネットワーク

身の回りの機械がコミュニケーションをするように、自律的に情報を収集・管理

ユビキタス・テレポーテーション

どこにいてもどんな端末でもネットワークにいつでも繋がり、生活空間を自在に作れる

ユビキタス・エージェント

いつでも欲しい情報をリアルタイムで利用者のニーズに応じた形で享受でき、OSサービスも自由に選択・利用

ユビキタス・プラットフォーム

高度な認証とセキュリティで、プライバシーが保護され、様々なサービスを誰でも安心して利用

ユビキタス・アプリアランス

子供から高齢者まで気軽に使えて、高い操作性・コンパクト性を実現

ユビキタス・コンテンツ

所有権を明確にし、魅力あるコンテンツを自在に流通・利用

実現のための研究開発すべき技術

<ul style="list-style-type: none"> ◆ユビキタスシステム技術 ◆フレキシブル・パーソナライズシステム技術 ◆プロファイルポータビリティ技術 ◆ニューテクノロジー-適応型ネットワークアーキテクチャー技術 ◆空間情報処理/配信システム技術 ◆リアルタイムOS技術 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ユビキタスアドレス運用・管理システム技術 ◆モビリティ制御・管理技術 ◆高精度広域位置特定技術 ◆高度センシングシステム技術 ◆データGRID技術 	<ul style="list-style-type: none"> ◆アプリケーション高度化技術 ◆ユビキタス・エージェント技術 ◆インテリジェントコンテンツ技術 ◆多言語対応画像・音声融合認識処理技術
<ul style="list-style-type: none"> ◆異種ネットワーク間シームレス接続技術 ◆ネットワーク統合型Zero Administration技術 ◆ネットワーク間QoS技術 ◆フレキシブル経路制御技術 	<ul style="list-style-type: none"> ◆異種ネットワーク間シームレス接続技術 ◆ネットワーク統合型Zero Administration技術 ◆ネットワーク間QoS技術 ◆フレキシブル経路制御技術 	<ul style="list-style-type: none"> ◆トラНСコーディング技術 ◆高リアルティ映像ストリーミング配信技術
<ul style="list-style-type: none"> ◆高機能ネットワーク技術 ◆超小型ワンチップコンピュータ技術 ◆低消費・長寿命電力技術 ◆電子ペーパー技術 	<ul style="list-style-type: none"> ◆プラットフォーム技術 ◆コンパクト・セキュア・リアルタイムプロトコル技術 ◆自己最適型セキュリティシステム技術 ◆高機能課金・決済システム技術 	<ul style="list-style-type: none"> ◆五感活用インターフェース技術 ◆有機EL技術 ◆複数メディア対応端末技術 ◆ICカード高度認証技術 ◆個人認証技術 ◆DRM技術

(出所) 総務省資料よりMRI作成 2

1. 技術動向

(参考) ユビキタスネットワークの進展イメージ

2005年(発展期): 他のシステムとのシームレス性を柔軟に活用し、ネットワーク、端末、コンテンツがストレスなく利用できる。

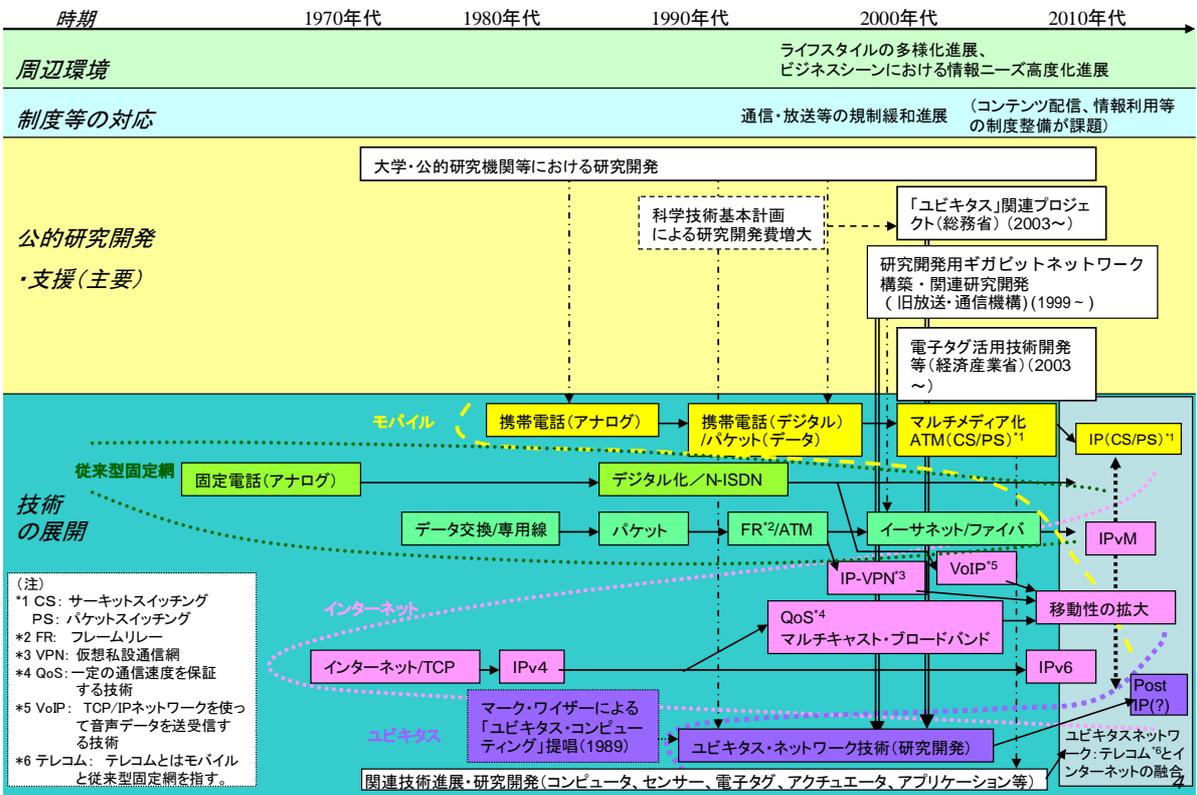
2010年(成熟期): どこにおいても、何の制約もなくネットワーク、端末、コンテンツを自在に意識せずに、ストレスなく、安心して利用できる通信サービス環境を構築できる。



(出所) 総務省資料よりMRI作成

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(1) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け



2. 公的研究開発・支援の位置付け

(2) 技術開発への公的研究開発・支援の寄与内容等

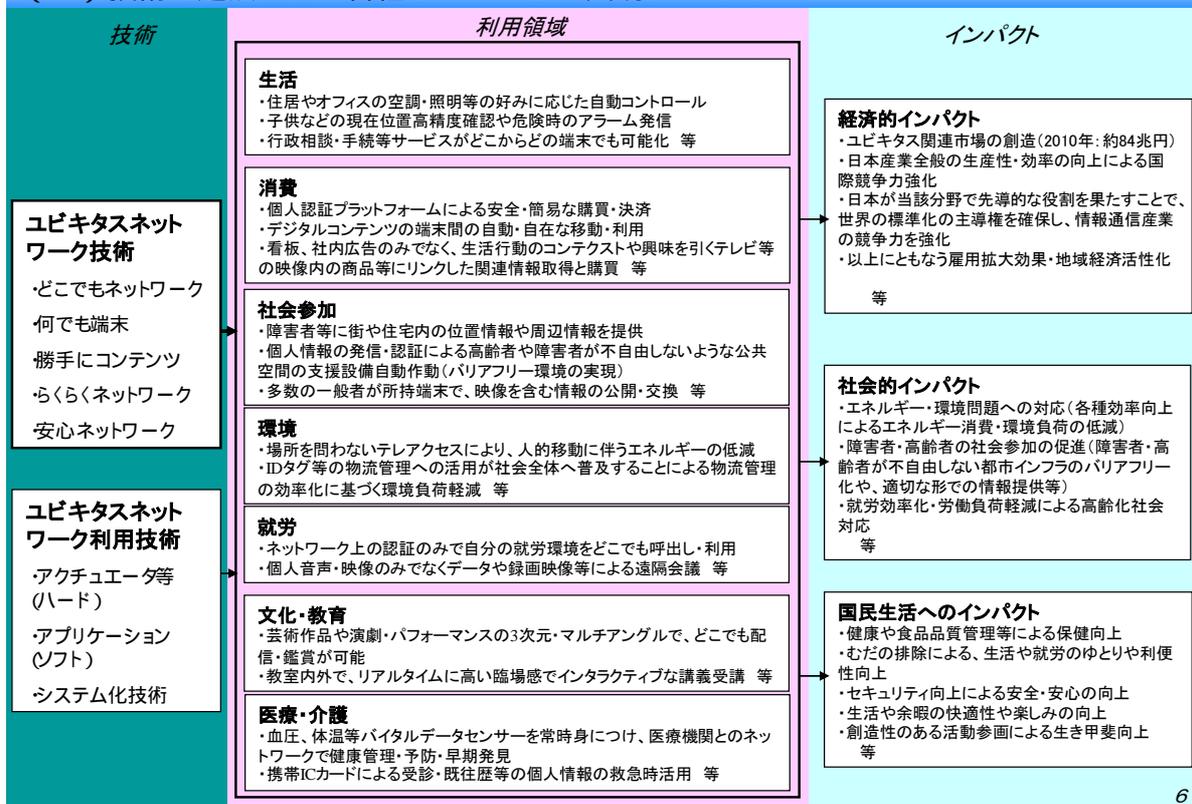
基盤技術や個別要素技術における寄与とともに、分野横断的な応用・利用に関わるコンセプト構築における寄与が特徴的であった。なお、当該ネットワーク技術は米国技術の導入や民間主導での研究開発が主であり、公的研究開発支援の付加可能性は小さかったとの意見もあった。

公的研究開発・支援	寄与の対象	寄与の形態・内容等(主要例)	
		資金提供以外による寄与	企業への資金提供等による寄与
大学・公的研究機関等における研究開発	モバイル通信技術全般	・無線通信に関する基礎技術(アンテナ技術、品質評価等) ・標準化への学術的アドバイス	
	携帯電話OS	「トロン」の携帯OSへの組み込みとユビキタスネットワークへの応用	
「ユビキタス」関連プロジェクト(総務省)(2003～) [2003年度25億円、2004年度約115億円予定]	横断的な応用・利用コンセプト・技術	・分野横断的なユビキタス概念の構築・命名・普及への支援	・利用用途開発および実証試験
	ネットワーク要素技術		・極めて多数の端末からのリアルタイム認証技術 ・ネットワーク経路制御技術
研究開発用ギガビットネットワーク構築・関連研究開発: JGN, JGN2(旧放送・通信機構)(1999～) [2004年度約38億円予定]	光通信ネットワーク		・光スイッチング技術開発
	メーカー間相互接続	・標準化支援 ・フィールド実験のためテストベッド(オープンラボ)施設整備	・光ネット連携プロトコル開発と接続性検証
	研究人材育成	・学術ネットワークの中で人材が融合し、IPv6等の民間での技術開発の基礎となった	
電子タグ活用技術開発等(経済産業省)(2003～)[2004年度約35億円予定]	電子タグおよび活用技術	商品識別コードの国際標準化	・電子タグの低価格化関連技術開発(響プロジェクト等) ・ユーザ業界ごとの実証試験

5

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

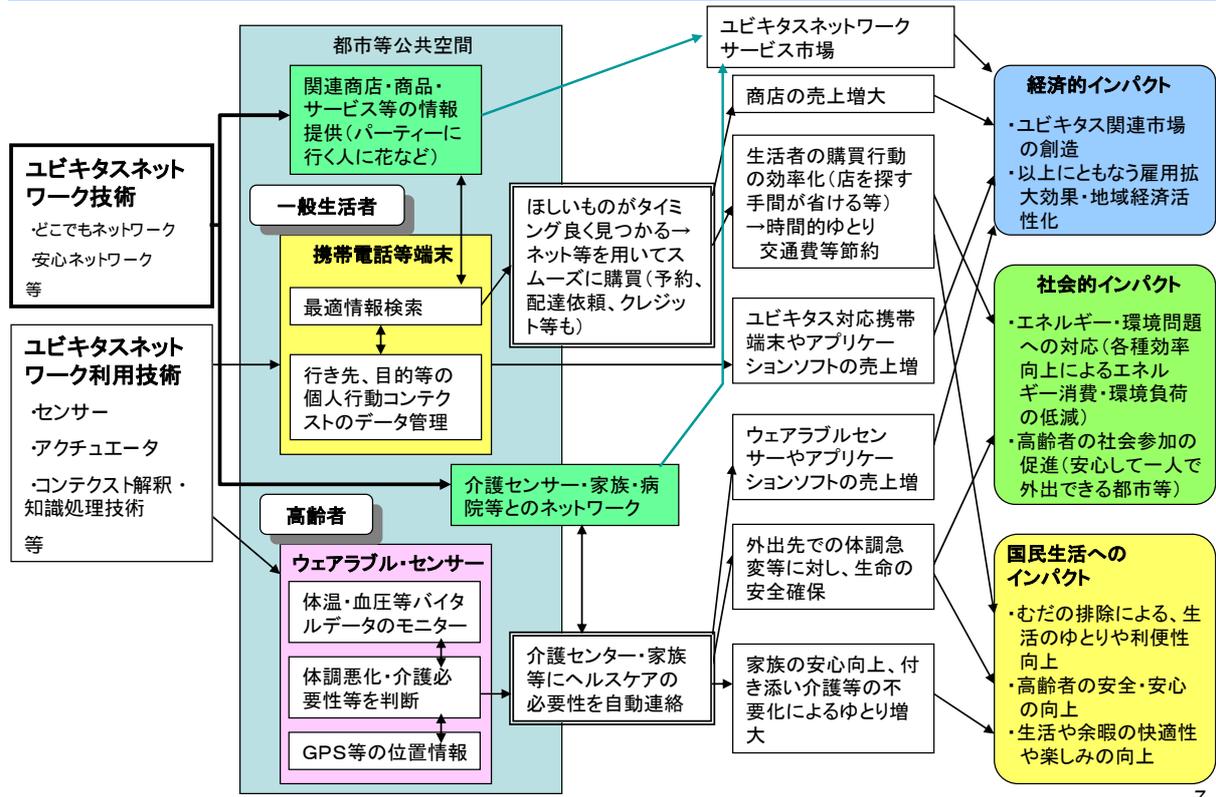
(1) 技術を起点とした各種インパクトと実現プロセス



6

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

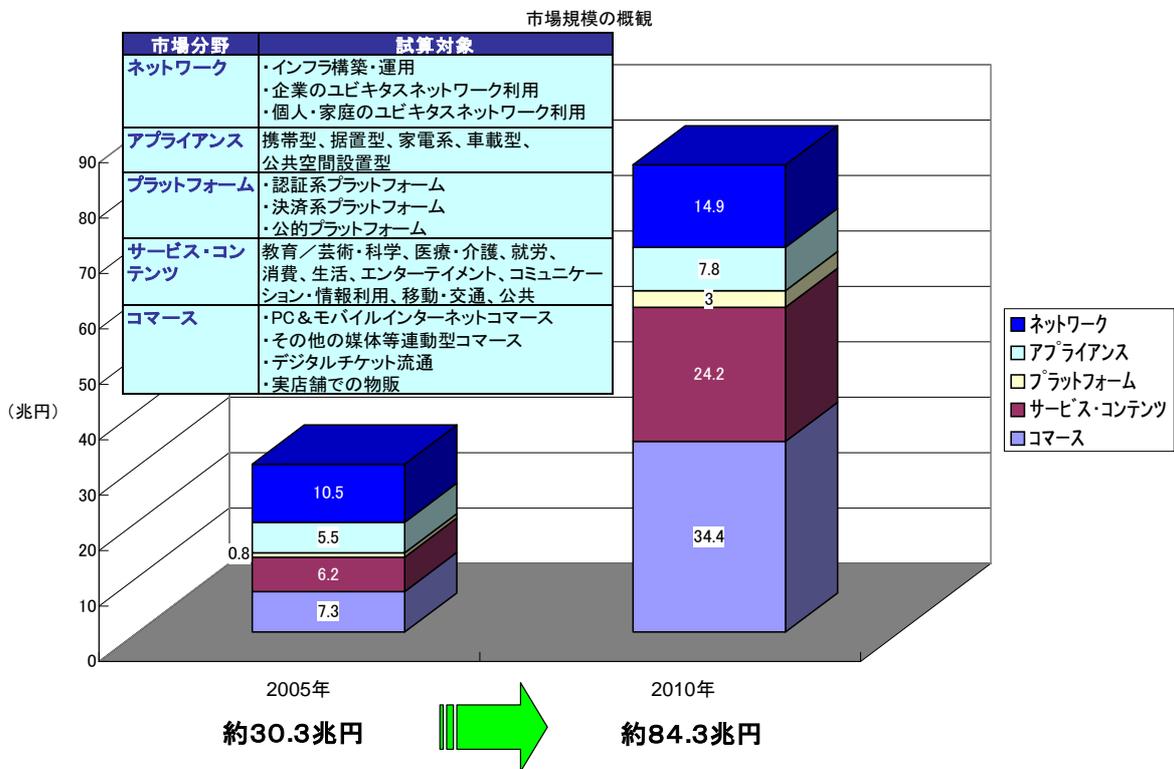
(2) 当該技術の利用とインパクト実現プロセス (生活、医療・介護での利用例)



7

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

(参考) ユビキタスネットワークの波及効果市場規模 (試算例)



(出所) 総務省資料よりMRI作成

8

4. まとめ

- ユビキタスネットワークとは、「どこにいても、ネットワーク、端末、コンテンツを自在に、意識せずに、ストレスなく安心して利用できる」という基本コンセプトによる。これは、フレキシブルブロードバンド、センサーネットワーク、プラットフォーム、テレポーテーション（端末間のデータの自動移動等）、エージェント、アプライアンスおよびコンテンツから構成される。なお、このネットワークを利用するために、主に人が操作するPCや携帯電話だけでなく、人の利用を前提としない電子タグやアクチュエータ等の技術も必要になる。
- ユビキタスネットワークは、既存の技術であるテレコム（固定電話、データ交換／専用線、携帯電話）とインターネットの融合により実現が期待されるが、これに加え電子タグ等の利用技術開発と、ユビキタスネットワークのための独自技術開発が進められている（携帯電話の多様なサービスは当該技術の萌芽的な実現との見方もある）。
- 当該技術はe-Japan戦略とその発展形のu-Japan戦略等に位置づけられ、公的支援も含めた活発な研究開発が進められてきた。日本は光ネットワーク・デバイスで強いとされるが、インターネット等のネットワーク技術全般は米国優位であり、米国、欧州、アジアでも、大規模な国家主導プロジェクトによる研究開発がなされている。
- 基盤技術や個別要素技術における寄与とともに、分野横断的な応用・利用に関わるコンセプト構築における寄与が特徴的であった。なお、当該ネットワーク技術は米国技術の導入や民間主導での研究開発が主であり、公的研究開発支援がなかった場合でも民間による研究開発が恐らくなされたであろうとの意見もあった。主要な公的研究開発・支援の寄与は以下の通り。
 - ・ 大学は無線通信に関する基礎技術や、標準化への学術的アドバイスで寄与した。なお、大学研究者により開発されたOS「トロン」も当該技術に応用されている。
 - ・ 総務省による「ユビキタス」関連プロジェクト(2003～)は、分野横断的なユビキタス概念の構築・命名・普及への支援とともに、利用技術開発と実証試験、各種要素技術開発で寄与した。
 - ・ 放送・通信機構による研究開発用ギガビットネットワーク構築・関連研究開発(JGN,JGN2:1999～)では、標準化支援とともに、フィールド実験のためのテストベッド施設整備と、それをういた光ネット連携プロトコルの開発・接続性検証等の寄与があった。
 - ・ 経済産業省の電子タグ活用技術開発(2003～)でも、低価格化関連技術開発および実証試験の寄与が見られる。
- インターネットは米国で軍が研究に20年間投資を続け、インフラとして無料開放して成功した。日本でも当該分野で成功するためには、国として公的投資を継続的に実施する必要がある。特に、コアとなる技術の基礎研究や基盤技術を、大学は長期的視野で取り組むべきとの指摘がある。また、ユビキタスネットワークを社会基盤インフラとして整備し普及促進するためには、無料または低料金での提供が重要であり、研究開発のみでなく、事業化・整備も含めた国の関与の必要性の指摘もある。
- 当該技術は、生活、消費、社会参加、環境、就労、文化教育および医療保険等の多様な分野で利用が期待され、経済的インパクト(ユビキタス関連市場創造等)、社会的インパクト(各種経済活動や生活の効率化によるエネルギー消費・環境負荷減少等)および国民生活へのインパクト(健康、安全・安心、快適性等の向上ほか)とも、いずれも大きいと期待される。

9

4. まとめ

(参考)指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

① 全般的課題

- センサーの標準化については、センサーのデータとなる温度、明るさ等を同一の単位(bitのような)で表現し、標準をつくる必要がある。(学識経験者)
- 日本は当該分野ですでに世界標準への寄与が大きい。日本は関連メーカーが多く、まとめて対応し、産業利用の実績を示して世界標準の主導権を得ていくべき。(企業・研究マネージャー)
- アプリケーションが課題である。例えば電子タグについては、流通業者の他、病院での血液管理やビル管理等でも関心が持たれており、分野横断的な研究開発が望まれる。これに対して、国のプロジェクトはデバイスに偏っているとの危惧がある。(学識経験者)
- 当該技術は個人情報に踏み込むことになるので、情報開示とプライバシー保護の扱いが実現過程で、解決すべき課題となる。(企業・研究マネージャー)
- コンテンツ利用に当たっての制度整備が必要。コンテンツが複雑で管理者・関係者が多いとうまくいかない。コンテンツ配信、デジタル知的所有権のマネジメント、オン・デマンド・サービスと端末などについて、制度整備を含めた障害克服が課題であり、国レベルでの対応が必要。(企業・研究マネージャー)
- 当該技術の利用のため、関連事業分野での既存の制度・規制等の見直しが必要。例えば、教育におけるネット単位の認定や、医療保険制度における対面診療の原則見直し等が考えられる。(企業・研究マネージャー)
- 普及促進のためには、社会の受け入れ側の認知が必要である。このため、特区等でのモデル事業による有用性検証が望まれる。特に、テストベッドをグローバルな視野で構築し、インターネットのように全世界に無料で解放することで、ユーザーの集積と技術の促進をはかることが重要であり、これを国の産業政策の一環とした長期的・継続的な技術開発・支援が望まれる。(現状のしくみでは、テストベッド等の初期整備費用の予算化に対して、維持・管理費の予算化が困難である。)(企業・研究マネージャー)

10

4. まとめ

(参考)指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

②今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

<当該分野>

- 標準化について、主体となるのは、企業や国研の研究者が望ましいが、企業も主導権を得るには、もっとリソースを割くべきであり、経営者もこれに積極的に関与することが望ましい。(学識経験者)
- 米国では軍がインターネットの研究に20年間投資を続けた結果、成功した。日本でも当該分野で成功するためには、米国のように国として公的投資を継続的に実施する必要がある。特に、コアとなる技術の基礎研究や基盤技術を、大学は長期的視野で取り組むべき。(現状の、大学が産業ニーズにシフトする傾向の中で、コアとなる技術開発が見失われる危惧がある。特に、ポスト・インターネット(IP)の技術は未知であり、大学で研究すべき)(企業・研究マネージャー)
- 当該分野ではこれまでNTTが多くの研究開発を継続的に担って来たが、競争環境が厳しくなり、今後は公的支援の重要性が高まる。また、産学連携も強化すべき。(学識経験者、企業・研究マネージャー)
- 固定電話も当初は国家事業として整備し、その後民営化した。ユビキタスネットワークも社会基盤インフラとして整備し、またインターネットのように無料(また低料金)で普及を図る意味で、国の関与の必要性がある。(企業・研究マネージャー)
- 技術的な課題は以下の通り。
 - 無線を使いこなす技術
 - 省電力化/軽量・小型化技術
 - セキュリティ/プライバシー保護技術
 - 膨大な数のものを管理するオペレーション技術(学識経験者)

<科学技術一般>

- 科学技術基本計画では、多くの資金が投入されているが、どの程度の資金が必要かという一般論は危険である。公的投資は戦略マップを描き、それに従って技術へ投資すべき。(外国と比較すると、日本は資金がかかりすぎているという印象があり、研究開発の実施そのものは良いが、質の向上が必要である。)(学識経験者)

3-5 廃棄物処理用ガス化溶融炉および灰溶融炉技術(環境)

(1) 事例分析に当たって

① 対象とした技術の概要

安全な廃棄物処理として、近年大きくは以下の5つが問題となっている。

- ダイオキシン対策。
- 最終処分場の適正化。
- 不法投棄の抑制。
- 最終生成物の無毒化と導出物対策(地下水および土壌汚染低下)。
- 高効率排ガス処理と飛灰(PM2.5)対策技術。

また、リサイクルに関しては、日本の物質収支が10億トンレベルの蓄積純増であることから、マテリアルリサイクルだけでなくサーマルリサイクルを重要視する必要がある。

したがって、本事例分析では、上記の観点から今後大きなインパクトが期待される処理・リサイクル技術として、ガス化溶融炉技術およびストーカー炉+灰溶融技術を考え、すでに成熟技術であるストーカー炉を除く以下の2つの技術を調査・分析の対象とした。

- ガス化溶融炉技術。
- 灰溶融技術。

② 調査方法および対象

本事例調査では、当該技術に関する有識者等へのヒアリング調査を主とし、さらに文献調査・統計データ分析を実施した。

ヒアリング調査の対象を以下に示す。

- 学識経験者(東京工業大学総合理工学部教授)1名
- 公的研究機関(国立環境研究所)研究者1名
- 企業(プラントメーカー・役員、プラントメーカー・マネージャー、コンサルタント)4名

(2) 技術動向

ガス化溶融炉技術およびストーカー炉+灰溶融技術は以下のような特徴を有する。

- 廃棄物の燃焼によるサーマルリサイクル及び電力のリサイクルが可能。
- 焼却灰の溶融化による減容化および無害化処理が可能。
- 鉄等の金属の回収スラグとしての再生利用が可能。
- 最終処分場の埋立物を掘りおこし溶融化することで埋立物の減容化や無害化処理が可能。
- 溶融飛灰からの亜鉛、チタン等の金属回収による山元還元が可能。

ガス化溶融炉は1970年代に米国で開発された。日本でも技術導入が行われるとともに、日本の高炉技術を応用した技術開発、実証炉建設により、1970年代後半にはシャフト炉形式の実機炉が建設されたが、コスト高のため、普及が進まなかった。

ダイオキシン類対策特別措置法が制定され、さらに最終処分場における適正処理が課題となった1990年代には、ドイツ等から次世代のガス化溶融炉に向けた技術が導入されるとともに、流動床炉技術の応用等により、流動床式、キルン式、ガス改質方式の開発が進められ実機炉も導入され始めた。特許件数も増加傾向にある。

灰溶融炉は、1970年代にドイツ等から技術導入を行い、1980年代には、日本での技術開発、実証炉建設を経て、燃料溶融、電気溶融、内部溶融方式の実機炉が建設されてきたが、これもコスト高のため、普及が進まなかった。1990年代に、ダイオキシン規制の導入や社会的要請の高まりにより、再度技術開発が活発化しており、1990年初めには大型実用プラントがストーカー炉と組み合わせて商業化されている。なお、ストーカー炉技術はすでに確立されている。

土地に余裕のある諸外国では灰の減容化のニーズは低い。このような背景の中で、当該技術の日本の水準は高いといえる。

(3) 公的研究開発・支援の位置付け

ガス化溶融炉および灰溶融炉に関しては、主としてメーカーが主体となって研究開発を進めてきた。これに加え、メーカー同士が協力した廃棄物研究財団によるメーカー参加型の研究が継続して寄与してきたと言われている。当該技術における主な公的研究開発・支援について以下に示す。

(民間で実施される応用・実用化研究への資金提供)

- 1990年代には、対象廃棄物拡大や高品質スラグ生成、発電の高効率化等の目的で旧厚生省、旧通商産業省、旧科学技術庁、環境庁により、メーカーに対し研究資金が提供された。

(基盤技術の開発)

- 国立環境研究所における「廃棄物の循環資源化技術、適正処理・処分技術及びシステムに関する研究」は、循環型社会における資源の循環および廃棄物の適正処理・処分のための技術・システムの評価手法を開発することにより、当該技術の普及に寄与した。

(規制の導入)

- 1990年代にダイオキシンに関する新たな環境規制の導入や社会的要請がインセンティブとなり、焼却炉の技術はメーカー主導で開発が行われてきた。

(補助制度)

- 高額な焼却炉を導入する際の補助金等が、自治体の導入促進に寄与した。この導入支援の補助金等が間接的にプラントメーカーの技術開発に寄与したといえる。ガス化溶融炉の整備費用は概ねトン当たり4000～5000万円程度と言われている。100～200t/日のガス化溶融炉が多いため、大雑把にみるとガス化溶融炉施設1セットで、50～100億円程度になる。ガス化溶融炉に特化した補助金はないが、廃棄物処理施設整備にあたって活用できる地方公共団体向けの補助金として、「廃棄物処理施設整備費国庫補助金(環境省:補助率 25%)」、「地域新エネルギー導入促進事業(NEDO:補助率 50%)」等がある。また、上記の補助金を使った残額は起債などを活用するのが一般的で、起債は交付税措置されて、地方公共団体の負担は大幅に軽減される。

当該技術は当初は海外から技術導入したものの、国内で技術開発が進展した技術と見ることができる。インパクトアンケート調査結果によると、公的研究開発・支援の寄与は、「大」とする回答が約19%と環境分野(将来)の平均値27%よりも小さい。

(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

当該技術は、一般廃棄物処理および産業廃棄物処理または、最終処分場の掘りおこしによる埋立物への利用によって、以下のようなインパクトが期待されている。

- 経済的インパクト
 - ガス化溶融炉、灰溶融施設の市場拡大。
 - 海外への技術輸出、パテント収入。
 - 新最終処分場の整備の軽減。
 - 金属、スラグ製品による収入。
 - 売電収入。
 - 電力コスト削減。
 - 輸送コスト削減。
 - 熱利用によるコスト削減、産業創出。
- 社会的インパクト
 - 浸出水による地下水、土壌汚染防止。
 - 埋立地の延命化。
 - 不法投棄の防止。
 - 金属資源のリサイクルの実現。
 - ダイオキシン発生抑制と捕集処理。
 - 化石燃料の使用減によるCO₂排出削減。

○ 国民生活へのインパクト

- 安全、安心な生活の実現。
- 住民福祉の向上。
- 快適性、利便性の向上。
- 廃棄物処理、リサイクル技術に対する国民の環境保護意識の向上。
- 健康、保健問題の向上と医療費の低減。

インパクトアンケート調査結果では、社会へのインパクトが特に大きいと見られ(「大」および「中」との回答が84%)、経済へのインパクトおよび国民生活へのインパクトも大きいと見られる(「大」および「中」との回答が約70~80%)。

(5) 指摘された課題と今後の公的研究開発・支援のあり方に関する意見(参考)

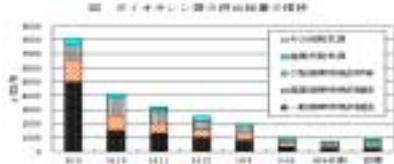
- ガス化溶解炉および灰溶解炉技術は、一通り完成し実機も普及し始めたところである。今後は、安定稼働の技術研究やランニングコスト・メンテナンスコストを含めたLCCの低減を図っていく必要がある。(公的研究機関・研究者、コンサルタント、企業・マネージャー)
- 焼却灰をスラグ化する技術は確立されているものの、スラグ製品の利用率は低くなっている。今後は、JIS化などを契機とした利用範囲の拡大やスラグの道路等への利用促進が課題となっている。(企業・役員、企業・マネージャー)
- 環境分野は行政の規制が技術開発に大きく影響している。このため、産学のみでの研究開発を行っても実際に社会的に受け入れられるものとはなりにくい場合が多い。そこで、公的研究開発においては、技術を開発するだけでなく、それを社会に適合させるための社会システムの在り方も併せて研究する必要がある。場合によっては、「官」側として、行政機関や公的研究機関が参画することが有効である。さらに、行政側でも縦割の弊害があり、スラグの場合は土木建設サイドの協力が不可欠である。(公的研究機関・研究者、企業・役員)
- 技術開発は長期間にわたるものが多くまた将来技術の開発となるため、公的研究支援においては研究の不確実性に対応したフレキシビリティの高いものであることが望まれる。また、単年度の研究では開始時期が遅くなりやすく、成果を出すのに十分でない場合が多い(この点は最近改善されつつある)。(学識経験者、企業・役員)
- 当該技術では、ダイオキシンの測定方法や JIS 規格化のようなスラグの用途開発などの周辺技術については、各メーカーが参画しつつ公的研究開発機関などがまとめ役となって公的支援を受けつつ実施することが非常に有効である。(企業・役員、企業・マネージャー)
- 排ガス処理と飛灰(PM2.5)捕集技術の向上が必要である。(公的研究機関・研究者)

1. 技術動向

(1) 安全な廃棄物処理及びリサイクル技術の動向 (1 / 2)

1) 安全な廃棄物処理

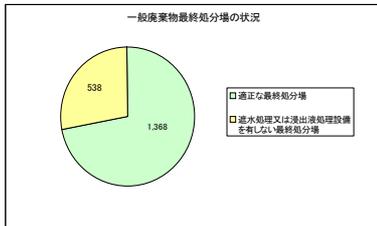
① ダイオキシン対策



(出所) 環境省「ダイオキシン類の排出量の目録」

■平成11年に公布されたダイオキシン類対策特別措置法により、大気中のダイオキシン値は、平成15年予測値で基準値以下になっている。しかし、焼却灰及び最終処分場埋立焼却灰に含まれるダイオキシンへの対応が必要である。

② 最終処分場の適正化



(出所) 厚生労働省「一般廃棄物最終処分場における処理の適正化について」(平成10年3月10日)

■最終処分場からの浸出水による地下水汚染や周辺植物の生態系への影響が懸念されている。焼却灰及び最終処分場埋立物の無害化処理が必要である。

③ 不法投棄の抑制

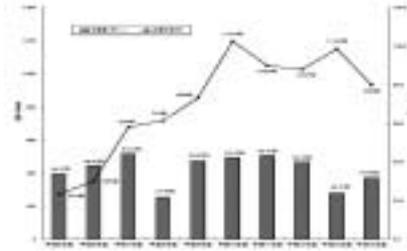


図: 産業廃棄物の不法投棄件数及び投棄量の推移

(出所) 環境省「産業廃棄物の不法投棄の状況(平成14年度)について」

区分	埋立総容量 (万t)	埋立容量 (万t)	埋立年数 (年)
全国	4,208	17,941	4.3
	(4,508)	(17,608)	(3.9)
埋立別	1,218	1,318	1.1
埋立別	(1,307)	(1,517)	(1.2)
埋立別	559	1,204	2.2
埋立別	(633)	(1,224)	(1.9)

(出所) 厚生労働省「産業廃棄物の排出・処理状況等について」 ※()内は、前年数値

■不法投棄量は平成14年度で31.8万tにのぼっており、地下水汚染や土壌汚染が懸念されている。原因の一つに最終処分場の容量の限界と新設施設の減少が挙げられる。最終処分場の延命化が必要である。

1

1. 技術動向

(1) 安全な廃棄物処理及びリサイクル技術の動向 (2 / 2)

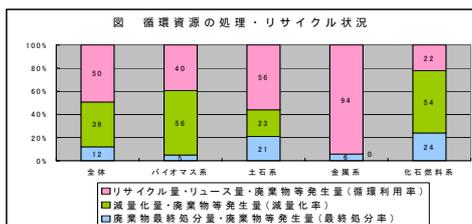
2) リサイクル技術

■平成12年に公布された循環型社会形成推進基本法では、処理の優先順位を発生抑制→再使用→再生利用→熱回収→適正処分と法定化している。その結果、容器包装リサイクル法、家電リサイクル法、食品循環資源再生利用促進法、建設工事資材再資源化法、環境物品調達推進法が整備された。



図: 日本の物質収支 (出所) 環境省「平成15年版環境白書」

■平成12年の物質収支を見ると、国内に10.8億tが蓄積純増している。日本は、国土に限られている上に物質収支として大幅な入超である。これを背景として、世界の焼却炉の80%は日本に集中している。今後も日本では、廃棄物を焼却してサーマル/電力リサイクルを行うことが必要である。



(出所) 環境省「平成15年版環境白書」

■物質別では、土石系や金属系は、燃やすことができず、またマテリアルリサイクルに対応した社会システムが完成している。そこで、残りのバイオマス系や化石燃料系は、燃やして物質として大気に還元すると同時に、サーマルリサイクルでエネルギー代替を図るといった視点が必要になる。但し、最終的な焼却灰については、減容化及びマテリアルリサイクルが必要になる。

3) 本調査で対象とする技術について

◆ガス化溶融炉技術 ◆ストーカー炉+灰溶融炉技術

<技術の特徴>

- ・廃棄物の燃焼によるサーマルリサイクル及び電力へのリサイクルが可能。
- ・焼却灰の溶融化による減容化及び無害化処理が可能。鉄等の金属の回収、スラグとしての再生利用が可能。
- ・最終処分場の埋立物を掘りおこし溶融化することで埋立物の減容化や無害化処理が可能。
- ・溶融飛灰からの亜鉛、チタン等の金属回収による山元還元が可能。



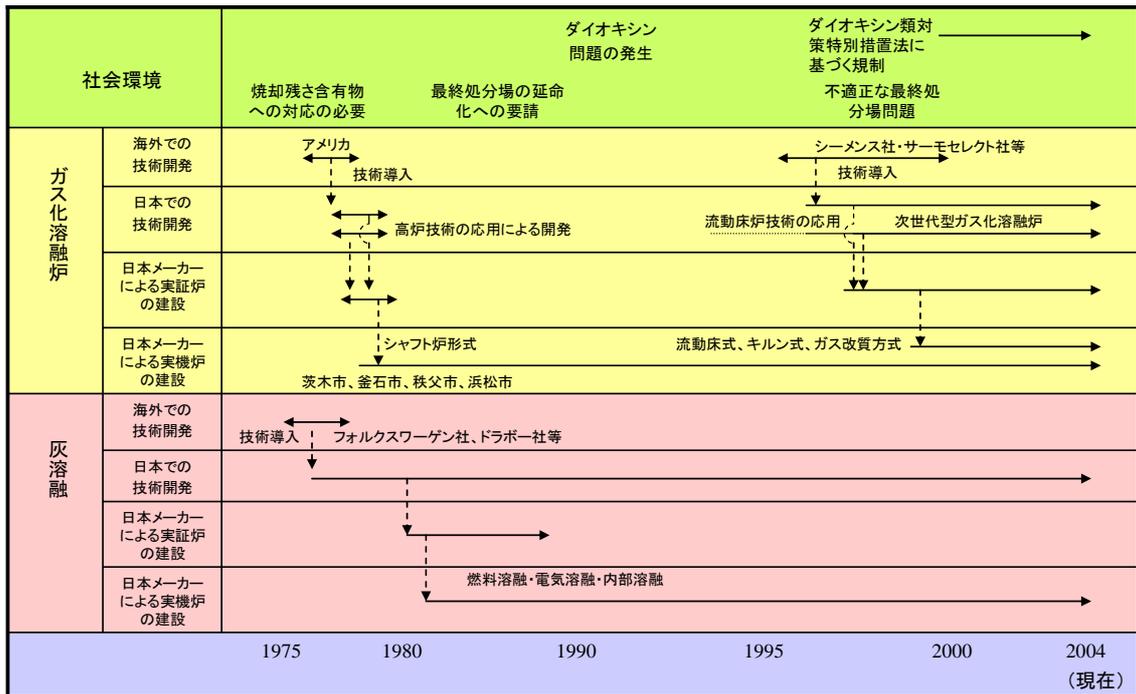
ストーカー炉技術はすでに確立されている。

将来技術としてガス化溶融炉及び灰溶融炉技術に着目する。

2

1. 技術動向

(2) ガス化溶融炉及び灰溶融の技術開発経過



- 日本におけるガス化溶融炉・灰溶融技術の開発は、社会要請や法規制が先行し、それに対応する形で進められてきた。
- メーカーによる技術開発が進展したのは、ダイオキシン問題と最終処分場の適正処理が課題となった1990年代からである。

3

1. 技術動向

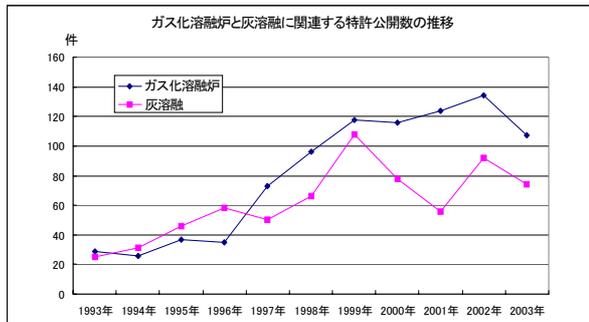
(3) ガス化溶融炉及び灰溶融技術の技術動向

表: 主なガス化溶融炉・灰溶融技術の概要

※実機数は、平成15年11月現在。一般廃棄物のみ

炉形式	方式	概要	実機数	
ガス化溶融炉	ガス化・溶融一体型	シャフト炉方式 処理物、石灰石、コークスを炉内上部より供給し、熱分解帯で有機物をガス化、燃焼溶融帯で無機物を溶融。	29カ所	
	ガス化・溶融分離型	キルン方式	キルン内に定量供給された処理物をバーナによる輻射・揮発効果で溶融。	13カ所
		流動床方式	流動床式のガス化炉で処理物を熱分解させ、生成したガスの燃焼熱により灰分を溶融。	18カ所
	ガス回収型	ガス改質方式	無酸素状態のキルン内で処理物を熱分解させ、熱分解ガスと熱分解カーボンを燃料として溶融。	2カ所
灰溶融	燃料溶融	表面溶融方式	バーナにより表面から溶融。	13カ所
	電気溶融	アーク式	放電電極間に発生した高温のアークにより処理物を溶融。	3カ所
		プラズマ式	放電電極と作動ガスにより発生したプラズマアーク熱で処理物を溶融。	18カ所
		電気抵抗方式	放電電極に通電して発生した電極間の処理物自身の電気抵抗熱により処理物を溶融。	1カ所

(出所) 八都府県市廃棄物問題検討委員会「灰溶融等の取組状況調査報告書」



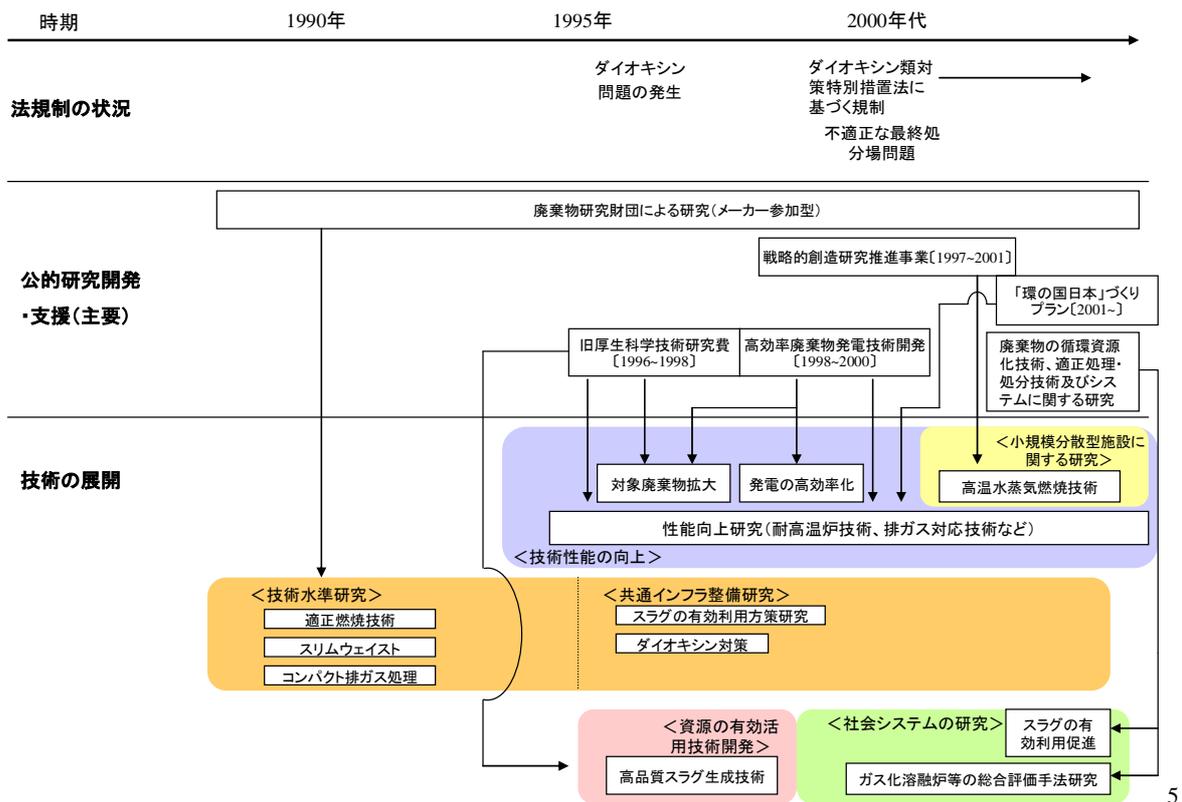
(出所) 特許庁「技術分野別特許マップ」
(出所) 特許庁HPより作成。公開特許公報中「ガス化溶融炉」は「ガス」及び「溶融」で検索。「灰溶融」は「灰溶融」で検索

- 溶融技術は、熱源や溶融原理によって異なるとともに、溶融可能な焼却灰や運転特性などが異なる。
- ガス化溶融炉に関する特許件数は、2002年まで増加傾向にある。
- 灰溶融に関する特許件数は、1999年をピークにそれ以降も同じ水準で推移している。

4

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(1) ガス化溶融炉及び灰溶融炉の技術開発経緯と公的研究開発・支援の位置付け



5

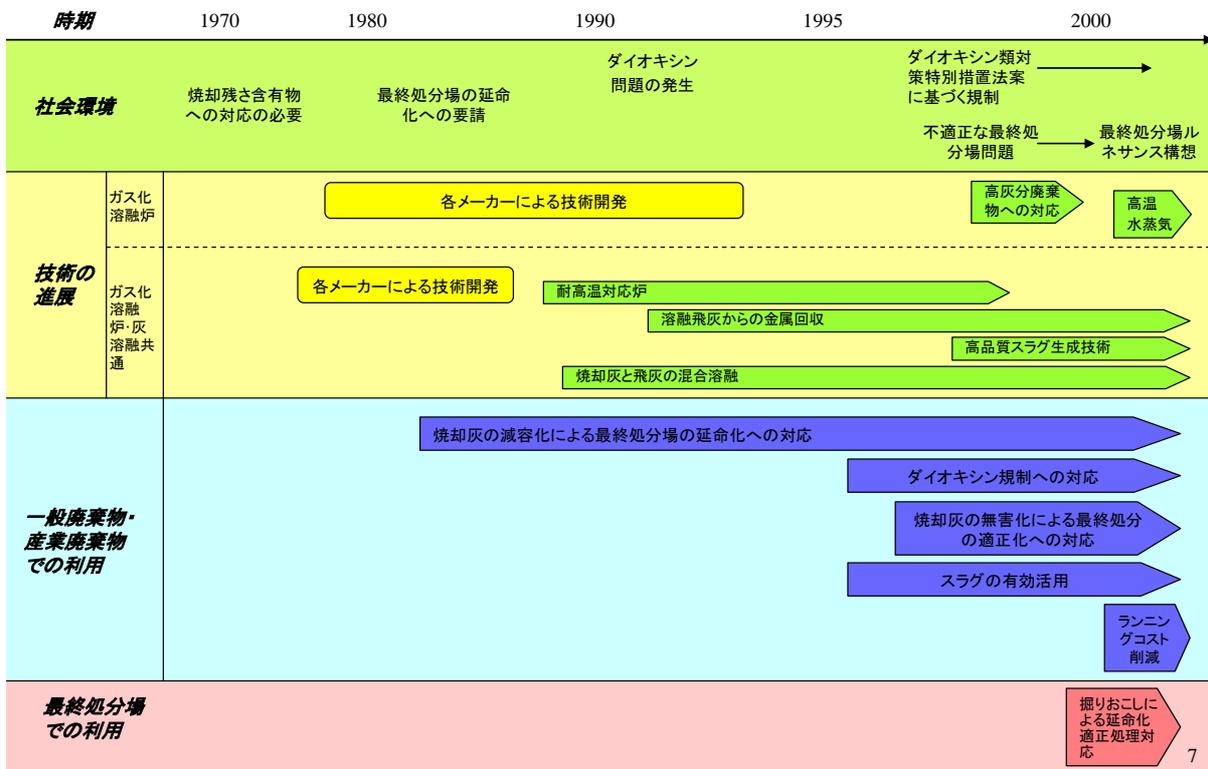
2. 公的研究開発・支援の位置付け

(2) ガス化溶融炉及び灰溶融炉の技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け

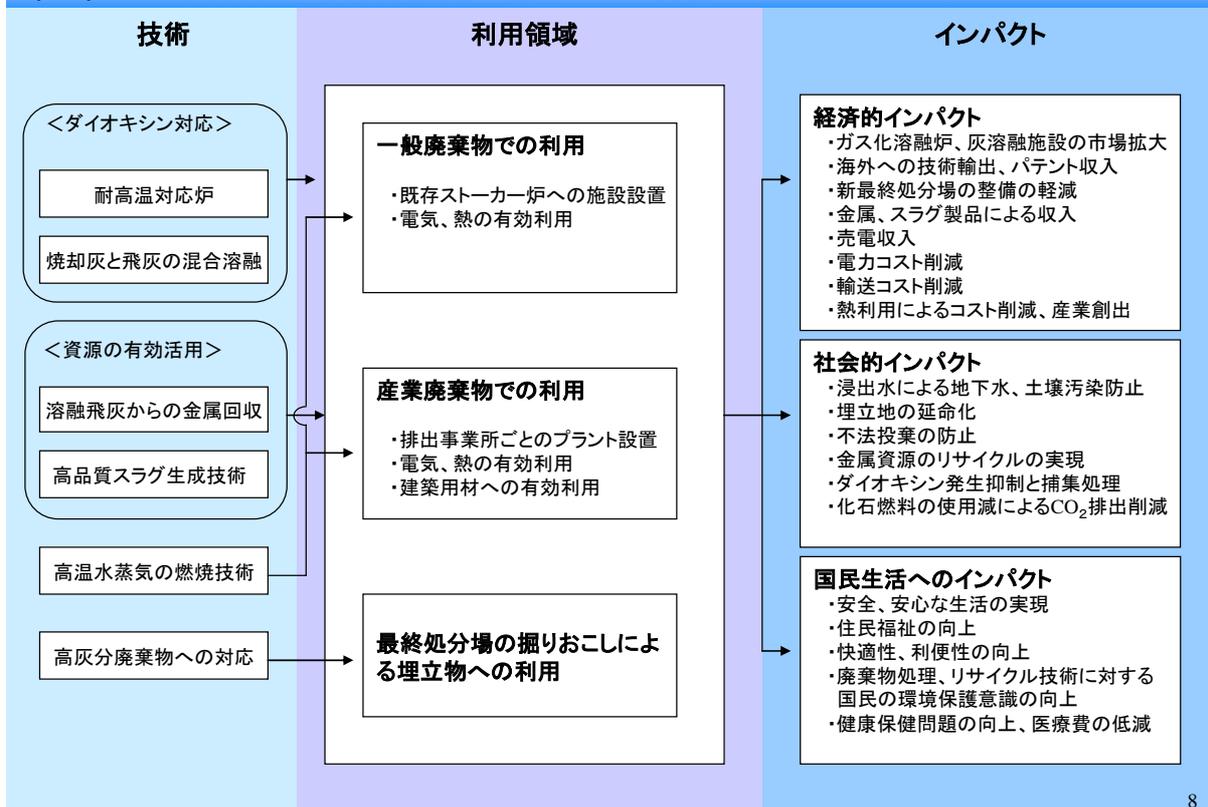
公的研究開発・支援	寄与の対象	寄与の形態・内容等
廃棄物研究財団による研究 (各メーカー参加型)	・適性燃焼、スリムウエスト、コンパクト ・排ガス処理 ・スラッグの有効利用方策研究、ダイオキシン対策	財団と各メーカーが技術水準や共通のインフラ整備に関する事項について共同で研究開発を実施
旧厚生省科学技術研究費 「次世代型ごみ焼却処理施設の開発研究」 [1996-1998]	・対象廃棄物拡大、性能向上 ・高品質スラッグ生成技術	実証プラント15施設での実証運転により、ダイオキシン類・窒素酸化物の挙動、システムの安全性の確認
NEDO高効率廃棄物発電技術開発 「ガス化溶融炉を用いた廃棄物発電技術開発」 [1998-2000]	・対象廃棄物拡大、性能向上 ・発電の高効率化	高効率と環境負荷の低減を同時に達成する廃棄物ガス化溶融炉発電技術の開発
旧科学技術振興事業団 戦略的創造研究推進事業 「環境低負荷型の社会システム」 [1997-2001]	・高温水蒸気燃焼技術	資源リサイクル、有効利用を概念とするLCA評価の高い生産システム、低エネルギー・資源消費、効率的なエネルギー・資源の利用を基盤とする環境低負荷型の社会/生活/都市/住宅実現のための実証的・システムの研究や環境汚染の計測/評価/制御のための革新的技術開発
環境省 「『環の国日本』づくりプラン」 「廃棄物処理等科学研究費補助金」 [2001-]	・廃棄物処理に関する有害化学物質対策や溶融飛灰中の重金属除去技術等廃棄物処理における各種技術	廃棄物に係る諸問題の解決及び循環型社会形成に資する研究・技術開発の推進
国立環境研究所 「廃棄物の循環資源化技術、適正処理・処分技術及びシステムに関する研究」	・スラッグの有効利用促進 ・ガス化溶融炉等の適合性評価手法研究	循環型社会の基盤技術・システムとして、資源の循環及び廃棄物の適正処理・処分のための技術・システム及びその評価手法の開発を実施

6

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (1) ガス化溶融炉及び灰溶融炉利用分野の歴史的展開

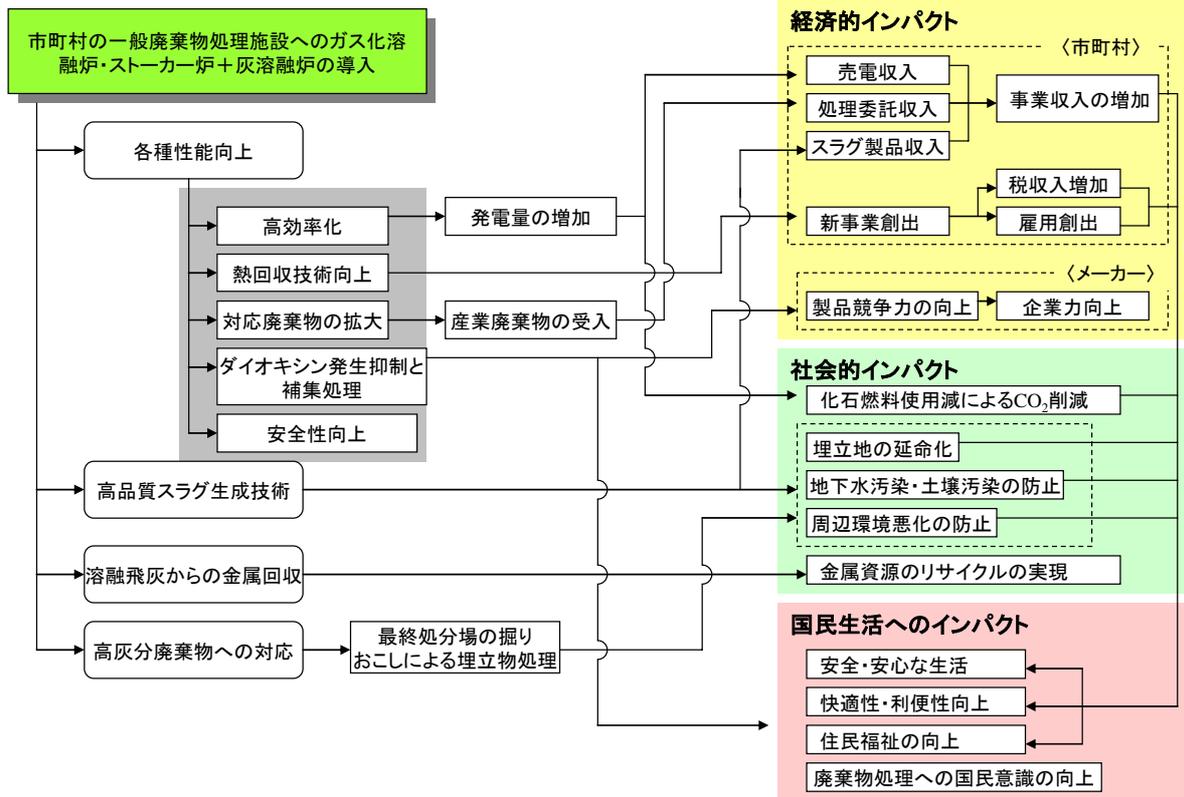


3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (2) ガス化溶融炉・灰溶融技術を起点とした各種インパクトと実現プロセス



3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

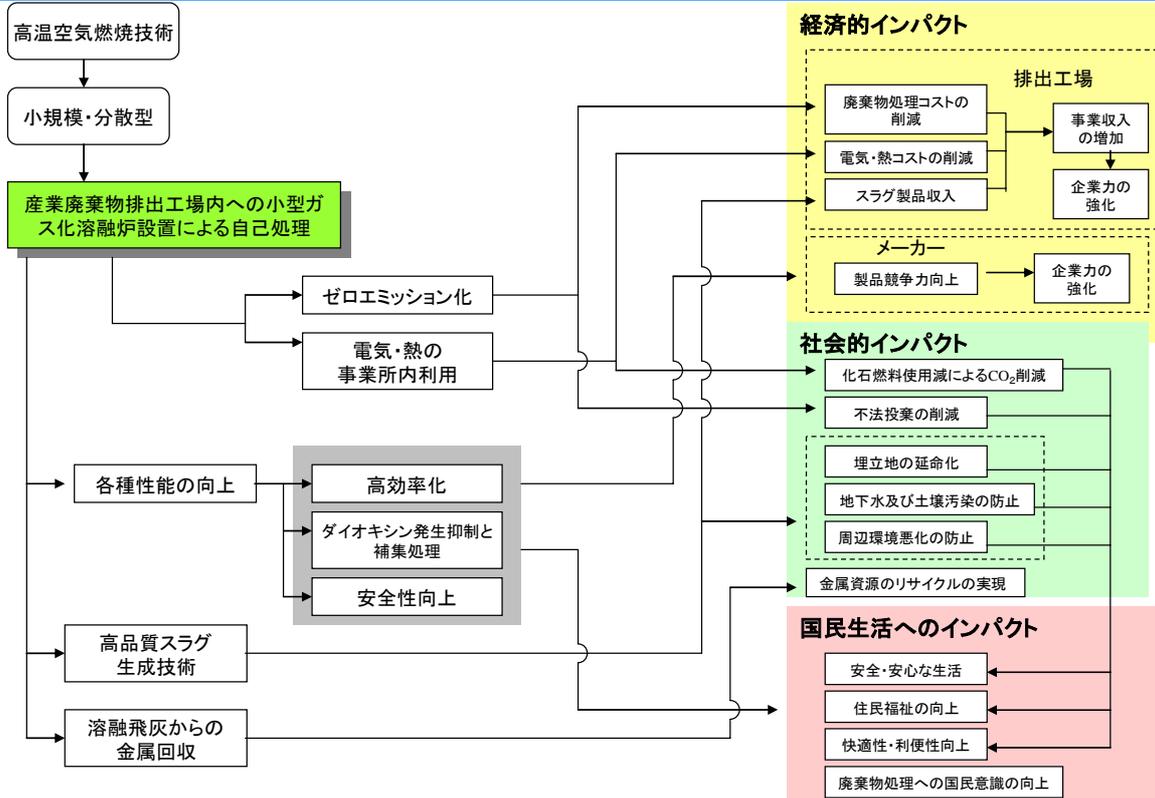
(3) 地方自治体における当該技術を起点とした各種インパクトと実現プロセス



9

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

(4) 工場内設置による当該技術を起点とした各種インパクトと実現プロセス



10

4. まとめ

当該技術のインパクトと公的研究開発・支援の寄与(まとめ)

- ガス化溶融炉及び灰溶融技術における技術開発は、社会からの要請や法規制が先行し、それに対応して民間主導で進展してきた。
- ガス化溶融炉及び灰溶融技術は、物質収支において10.8億tの蓄積純増があるという日本の特殊事情があり発展してきた。土地に余裕のある諸外国では灰の減溶化に対するニーズは低い。このような背景の中で、当該技術の日本の水準は高いといえる。
- 本技術においてはメーカー主導で技術開発が行われてきた。メーカーの実証段階における技術開発資金提供に公的支援は寄与したと見られる。また、共通的な技術基盤整備に関しても、メーカーが参画した公的機関による研究開発が寄与してきた。特に、ダイオキシン問題や最終処分の適正化問題が生じた1990年代以降に顕著である。
- また、環境規制に対応した焼却炉導入支援のための補助金等が、自治体への導入を促進した。この補助金等は間接的にプラントメーカーの技術開発に寄与したといえる。

11

4. まとめ

(参考) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

- ガス化溶融炉及び灰溶融炉技術は、一通り完成し実機も普及し始めたところである。今後は、安定稼働の技術研究やランニングコスト・メンテナンスコストを含めたLCCの低減を図っていく必要がある。(公的研究機関・研究者、コンサルタント、企業・マネージャー)
- 焼却灰をスラグ化する技術は確立されているものの、スラグ製品の利用率は低くなっている。今後は、JIS化などを契機とした利用範囲の拡大やスラグの道路建築材料等への利用促進が課題となっている。(企業・役員、企業・マネージャー)
- 環境分野は行政の規制が技術開発に大きく影響している。このため、産学のみでの研究開発を行っても実際に社会的に受け入れられるものとはなりにくい場合が多い。そこで、公的研究開発においては、技術を開発するだけでなく、それを社会に適合させるための社会システムの在り方も併せて研究する必要がある。場合によっては、「官」側として、行政機関や公的研究機関が参画することが有効である。さらに行政側でも縦割の弊害があり、スラグの場合は土木建設サイドの協力が不可欠である。(公的研究機関・研究者、企業・役員)
- 技術開発は長期間にわたるものが多くまた将来技術の開発となるため、公的研究支援においては研究の不確実性に対応したフレキシビリティの高いものであることが望まれる。また、単年度の研究では開始時期が遅くなりやすく、成果を出すのに十分でない場合が多い(この点は最近改善されつつある)。(学識経験者、企業・役員)
- 当該技術では、ダイオキシンの測定方法やJIS規格化のようなスラグの用途開発などの周辺技術については、各メーカーが参画しつつ公的研究開発機関などがまとめ役となって公的支援を受けつつ実施することが非常に有効である。(企業・役員、企業・マネージャー)
- 排ガス処理と飛灰(PM2.5)補集技術の向上が必要である。(公的研究機関・研究者)

12

3-6 二酸化炭素の分離・回収技術および隔離技術(環境)

(1) 事例分析に当たって

① 対象とした技術の概要

本事例分析では、当該技術を以下のように捉え、調査・分析の対象とした。

- 火力発電所や製鉄所から排出される二酸化炭素を分離・回収する技術。
- 回収した二酸化炭素を大気中に放出しないように、地中や海洋に貯留・隔離する技術。

② 調査方法および対象

本事例調査では、当該技術に関する有識者等へのヒアリング調査を主とし、さらに文献調査・統計データ分析を実施した。

ヒアリング調査の対象を以下に示す。

- 公的研究機関(産業総合研究所 地圏資源環境研究部門)1名
- 関係研究機関(電力中央研究所、地球環境産業技術研究機構)4名
- 企業(石油会社、電力会社)2名

(2) 技術動向

二酸化炭素の分離・回収および隔離は、1950 年ごろアメリカで EOR(石油増産)のために行われたのが始まりである。EORとは油田に二酸化炭素を圧入し、石油を押し出して、増産しようというものである。地球温暖化問題は、化石燃料の大量消費によって大気中の二酸化炭素濃度が、過去、地球が経験したことのない速さで増加している点にあると考えられている。二酸化炭素の分離・回収および隔離は、大気中への二酸化炭素の排出量を減らすとともに、大気中への放出を数百年から千年規模で遅らせて急激な環境変化を緩和することを目的とした技術である。

分離回収技術には、吸収法・吸着法・膜分離法などがある。回収技術は排出源と隔離技術を繋ぐ技術であり、排出ガスと隔離方法の特性により、選択すべき最適技術が変化する。現在は吸収法(アミン法)が多く用いられており、ほぼ完成された技術である。しかし二酸化炭素の隔離に利用するにはコスト面での改良がまだまだ必要であり、今後は膜分離法でのブレイクスルーが期待される。吸着法は現在の技術では大規模化した場合にコストが高くなる。どのように分離・回収するかとともに、いつ分離・回収するかという問題も存在する。石炭をガス化し、二酸化炭素と水素に分離して二酸化炭素は隔離するといった技術開発がなされている。

隔離技術には海洋へ二酸化炭素を溶融する海洋隔離と、EORや枯渇油・ガス井、炭層、帯水層などへ二酸化炭素を圧入する地中隔離の2種類が存在する。海洋隔離技術は、環境影響への不安や、ロンドン条約との関係から、実現への見通しが立っていない。地中隔離は、EOR として昔から実施され、ノルウェーの Sleipner 等でも大規模(年間 100 万 t-CO₂)に行われているため、実用化は早いと思われる。地中隔離の実現のためには、圧入技術のほかにもモニタリング技術やシミュレーション技術、地質データの整備、社会的受容性の向上など様々な要素が必要で、日本では(財)地球環境産業技術研究機構(RITE)を中心に研究開発が進められている。

(3) 公的研究開発・支援の位置付け

二酸化炭素分離・回収および隔離技術に対する公的研究開発・支援は、主に経済産業省および NEDO から、RITE への研究委託という形で行われている。RITE は、機関内で研究開発を行うと同時に、大学や企業との共同研究や、委託研究を行っている。当該技術に関する主な公的研究開発・支援を以下に示す。

(実証試験)

- 地中貯留に関しては、2000 年から、モニタリングやシミュレーションなどの基礎研究を進めると共に全国2ヶ所で実証試験によるデータ収集を行っている。2005 年度からは第2フェーズに移り、規模を10倍にして地中隔離の実現に向けて実証試験を行っていく予定である。
- 回収技術に対する寄与は主に膜分離法に関するもので、吸収法に対する公的な研究開発・支援は2004年から初めて開始された。RITE では、1997 年から海洋隔離の国際共同プロジェクトを立ち上げ、二酸化

炭素の希釈技術の開発や環境影響評価を行い、実証実験を計画していたが、環境保護団体等からの反対により、プロジェクトは足踏み状態を強いられている。

インパクトアンケートの結果によると、公的寄与が大もしくは中との回答が80%弱と大きく、内容では、公的研究開発の寄与が大きい。ヒアリング調査においてもアンケート結果を裏付ける結果となっている。

(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

当該技術は、二酸化炭素排出企業(電力会社、製鉄業など)と回収・隔離をする企業(石油会社など)の活動を通じて、以下のインパクトを実現すると見られている。

○ 経済的インパクト

- 二酸化炭素隔離事業の創出。
 - － 年間1000万t-CO₂の隔離:約100億～1000億円
- 二酸化炭素処理費用の低減。
- 石油の増産、メタンガスの採取(主に海外)。

○ 社会的インパクト

- 二酸化炭素削減効果。
 - － 年間国内で1000万t-CO₂の隔離(1カ所:100万t-CO₂規模):2015年頃
- 京都議定書の遵守。

○ 国民生活へのインパクト

- 貯留地域の環境意識の向上、環境先進地域としての認定。
- 地球温暖化防止。

インパクトアンケート調査では、環境分野としては、経済および社会へのインパクトが大きな技術であるとの結果が得られている。社会的なインパクトは、ヒアリング調査でも明らかになったように非常に大きい。経済的なインパクトは直接的な市場創出だけでなく、二酸化炭素が削減できることによる経済活動全体へのインパクトの大きさも表していると考えられる。

(5) 指摘された課題と今後の公的研究開発・支援のあり方に関する意見(参考)

① 技術的課題

- 二酸化炭素の分離・回収および隔離技術のコストの約7割が分離・回収コストであり、コスト削減が必要である。吸収法はかなり完成された技術であるため、膜分離法によるブレイクスルーが期待される。(関係機関・研究者)
- 地中貯留の実現のためには、社会受容性の向上が必要である。技術的には、圧入した二酸化炭素のモニタリング手法の確立や、シミュレーション技術の高度化が求められる。(関係機関・研究者、企業・研究者)
- 地中貯留の実施のためには、地質データの整備が必要である。現状は石油井、ガス井周辺データしか存在しないため、積極的な整備が求められる。(関係機関・研究者、企業・研究者)
- 海洋隔離の実現のためには、技術的には、環境影響評価の高度・精緻化が必要である。(関係機関・研究者、公的研究機関・研究者)

② 公的寄与に関する課題

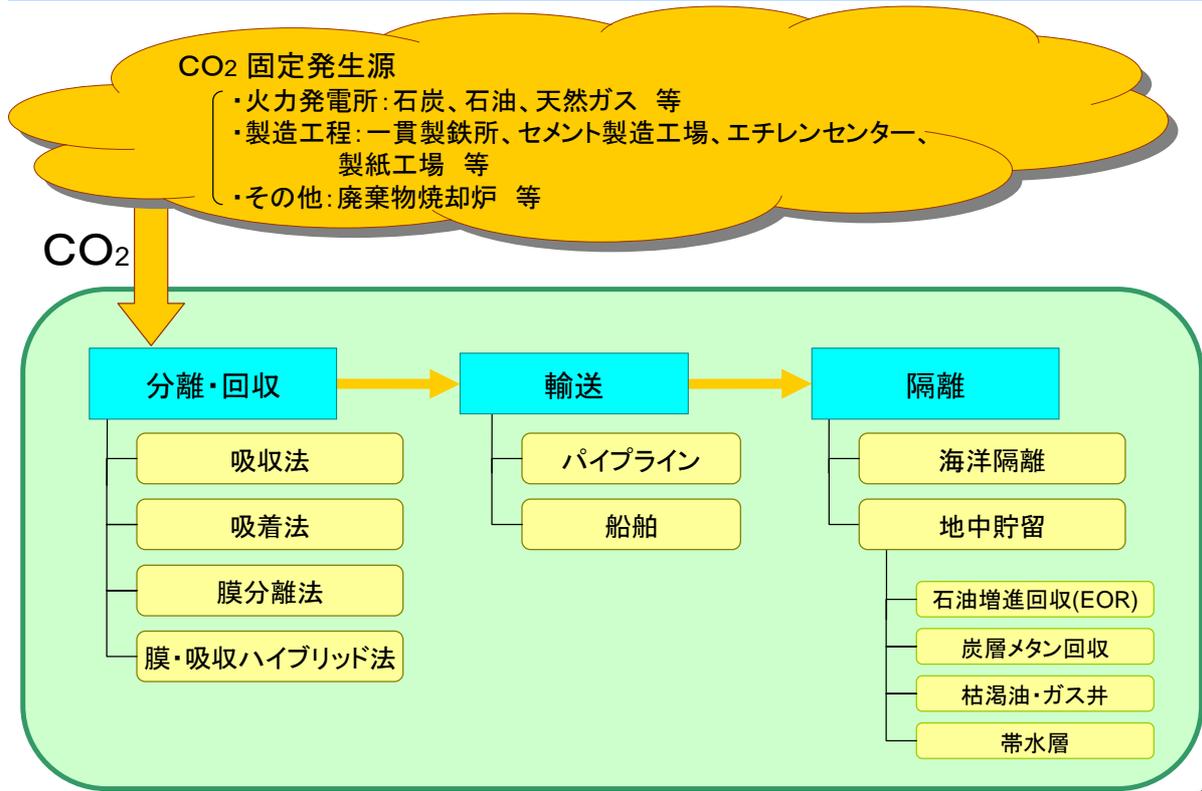
- 隔離地点誘致のため補助金政策も考えられるが、原発ほどのリスクはなく、別の方策の方が有用であることも考えられる。二酸化炭素の回収・隔離技術はノンリグレットな技術ではないため、国による公的な関与が必須である。(関係機関・研究者)
- 実施に向けて国の技術に対するスタンスを明確化し、ただ規模を10倍にするなどではない本当に必要な研究開発を進めるべきである。(関係機関・研究者)
- RITEに一括委託したことにより、キャッチアップによる一応の成果は期待できるが、大学等がプロジェクトに主体的に関わることができず、基礎研究の広がりが少なくなっている。国家のエネルギー戦略上必須の技術であり、基盤技術のいくつかは国内技術として抱えておく必要があると考える。(公的研究機関・研

究者)

- 国の地質調査所を前面に出すことにより、データの信頼性が増し、国際的なコンセンサスが得やすくなる
ことが考えられる。(公的研究機関・研究者)
- 貯留地域が環境にやさしい地域として認められるなど、NIMBY 問題を解決するための方策を考え出さな
なければならない。原子力発電所の立地問題に類似した面を持つが、アクシデントが起きた場合のリスクの
レベルが異なるし、コストも掛けられないので、独自の方法を考えていくことが望ましい。(関係機関・研究
者)

1. 技術動向

(1) 二酸化炭素分離・回収および隔離技術の概要



1

1. 技術動向

(2) 二酸化炭素分離・回収技術

- 回収技術は排出源と隔離技術を繋ぐ技術であり、排出ガスと隔離方法の特性により、選択すべき最適技術が変化する。
 - ・排出されるガスの分圧
 - ・隔離に適した二酸化炭素濃度: 炭層隔離は70%、その他技術は純度が高い方がよい 等
- 現在は吸収法(アミン法)が多く用いられているがほぼ完成された技術であるため、今後は膜分離法でのブレークスルーが期待される。吸着法は大規模化した場合にコストが高くなってしまふ。
- どのように分離・回収するかとともに、いつ分離・回収するかという問題も存在する。石炭をガス化し、二酸化炭素と水素に分離して二酸化炭素は隔離するといった技術開発がなされている。

● 二酸化炭素分離・回収技術の種類

		技術概要	長所	課題
吸収法	化学的吸収法	化学反応を利用して、CO ₂ を吸収する。再生は加熱により行う。アミン法と熱炭酸カリ法に大別される。	CO ₂ 分圧が低い場合でもCO ₂ 吸収率が高い。	吸収液再生エネルギーの低減
	物理的吸収法	吸収操作は高压・常温以下で行われ、再生は減圧により行われる。吸収液はメタノールやポリエチレングリコールのジメチルエーテル溶液など。	減圧による再生が可能のため、必要とする熱量が少ない。	常圧の排ガス(火力発電等)への適用
吸着法		排ガスを多孔質のゼオライトや活性炭などの吸着剤と接触させ、CO ₂ を物理化学的に吸着させる方法。再生は過熱もしくは、減圧により行う。	装置が簡単であり、中小規模のプラントに適している。	大規模化、脱湿動力の削減
膜分離法		膜における個々の気体の透過速度の違いを利用して、気体を分離する方法。高分子膜、無機膜、液膜などが存在する。	相変化を伴わないため、省エネルギーでの回収が可能である。	回収CO ₂ 濃度向上のためのCO ₂ 透過性・分離性の向上
膜・吸収ハイブリッド法		多孔膜による仕切りの内側で、化学的吸収を行い、減圧された外側で再生をする方法。	減圧による再生が可能のため、必要とする熱量が少ない。化学的吸収法単独より省エネである。	効率的なCO ₂ 放散

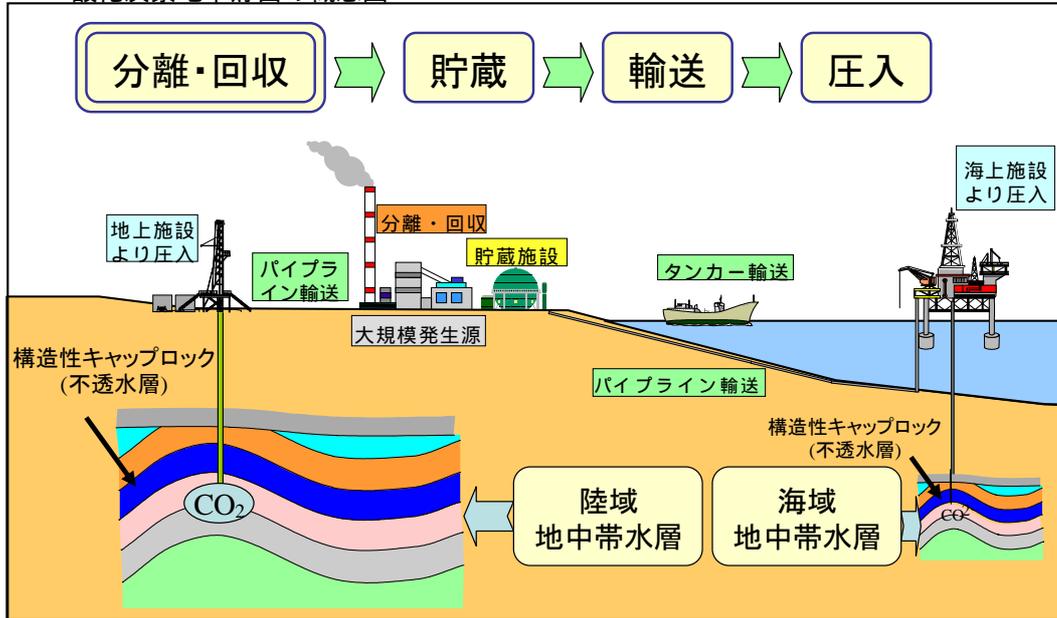
2

1. 技術動向

(2) 二酸化炭素隔離技術

- 海洋隔離技術は、環境影響への不安や、ロンドン条約との関係から、実現への見通しが立っていない。
- 地中隔離は、EORとして昔から実施され、ノルウェーのSleipner等でも大規模(年間100万t-CO₂)に行われているため、実用化は早いと思われる。

二酸化炭素地中貯留の概念図

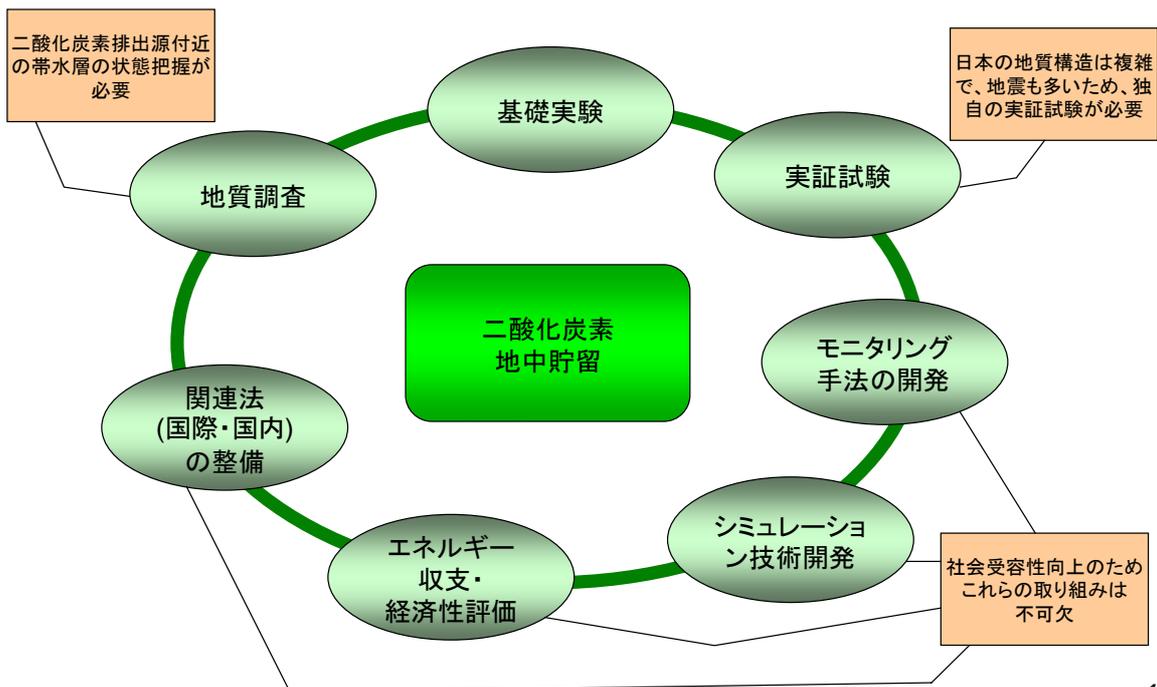


(出所)財団法人 地球環境産業技術研究機構 (RITE) 第14回地球環境産業技術動向調査報告会 資料

1. 技術動向

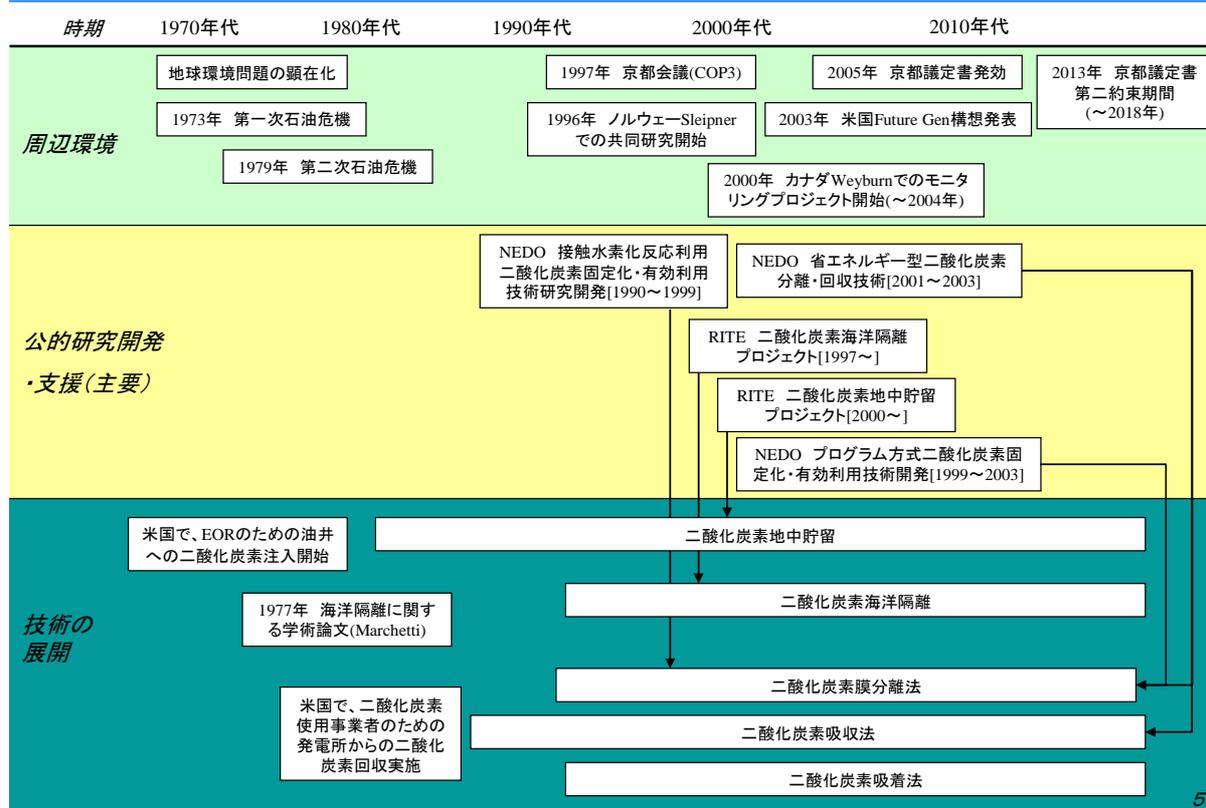
(2) 二酸化炭素地中隔離の実現に必要な周辺技術&環境整備

- 二酸化炭素の地中隔離の実現のためには、圧入技術だけでなく下記のように様々な技術開発および環境整備が必要である。
- 地質データの整備については、時間がかかるためコストと相談しつつ早期に始めなければならない。



2. 公的研究開発・支援の位置付け

(1) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け



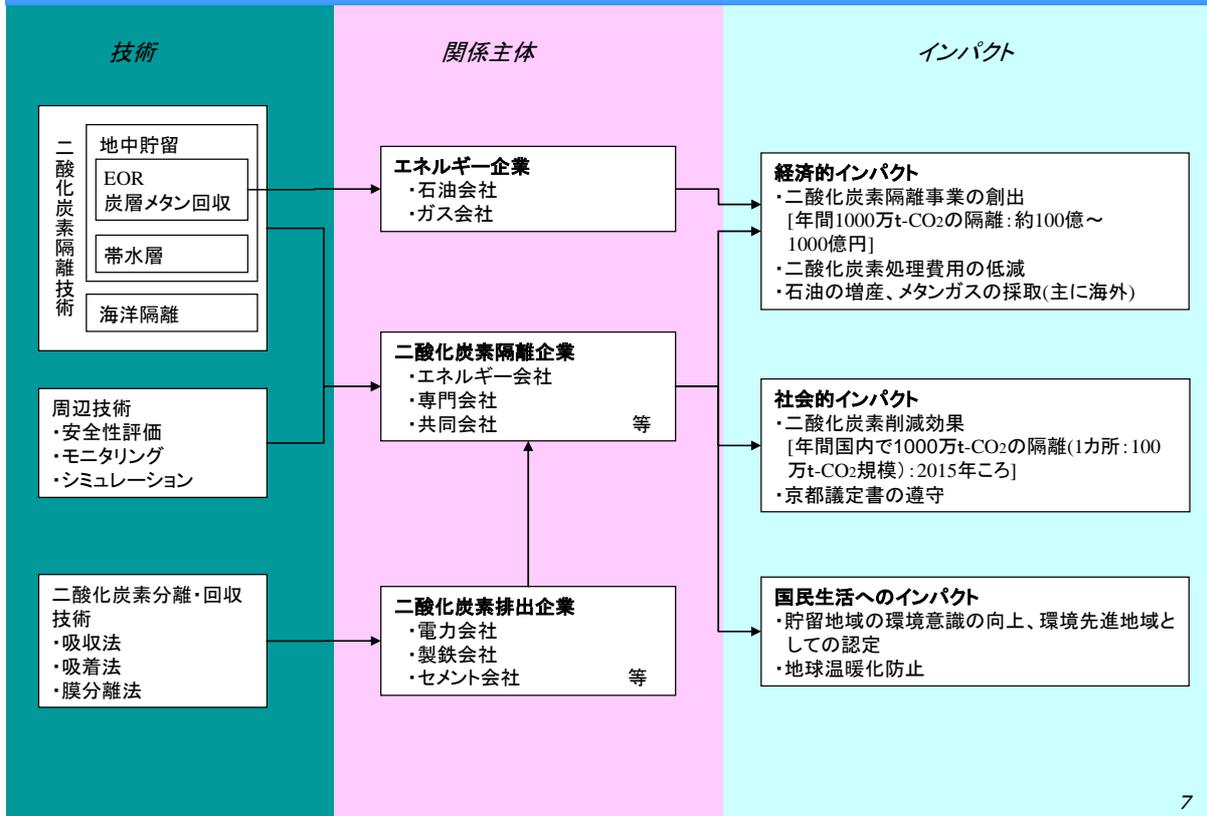
2. 公的研究開発・支援の位置付け

(2) 技術開発への公的研究開発・支援の寄与内容等

- 二酸化炭素分離・回収および隔離技術に対する公的な寄与は、主に経済産業省およびNEDOから、財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE)への研究委託という形で行われている。
- RITEは、機関内で研究開発を行うと同時に、大学や企業との共同研究や、委託研究を行っている。
- 回収技術に対する寄与は主に膜分離法に関するもので、吸収法に対する公的な研究開発・支援は2004年から初めて開始された。

公的研究開発・支援	寄与の対象	寄与の形態・内容等(主要例)
NEDO 接触水素化反応利用二酸化炭素固定化・有効利用技術研究開発 [1990~1999年] (約85億円)	・ 高分子系の分離膜	RITEへの研究委託 ・ 新規二酸化炭素分離膜
NEDO プログラム方式二酸化炭素固定化・有効利用技術開発 [1999~2003年]	・ 総合調査研究 ・ 基盤技術研究	二酸化炭素の固定化・有効利用技術に合致するテーマの探索調査を十分に行い、種々の研究開発テーマを順次・並行的にいくつも実施
NEDO 省エネルギー型二酸化炭素分離・回収技術 [2001~2003年] (約6000万円)	・ 二酸化炭素分離・回収技術の省エネ化	RITEへの研究委託 ・ 膜・吸収剤ハイブリッド法 ・ 耐水蒸気型化学吸着剤の開発 ・ CO ₂ 分離回収コストの低減
RITE 二酸化炭素海洋隔離プロジェクト [1997年~]	・ 海洋隔離技術 ・ 海洋隔離の環境影響評価	経済産業省の助成金による、RITEにおける研究開発(一部NEDO補助金) 関西総合環境センターや企業、大学との共同・委託研究 ・ CO ₂ 希釈技術 ・ 環境影響評価技術
RITE 二酸化炭素地中貯留プロジェクト [2000年~]	・ 地中貯留に関する基礎研究 ・ 地中貯留実証研究 ・ 地質調査	経済産業省の助成金による、RITEにおける研究開発(一部NEDO補助金) 官民の研究機関大学、産業界と連携して研究を実施

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (1) インパクト実現プロセス

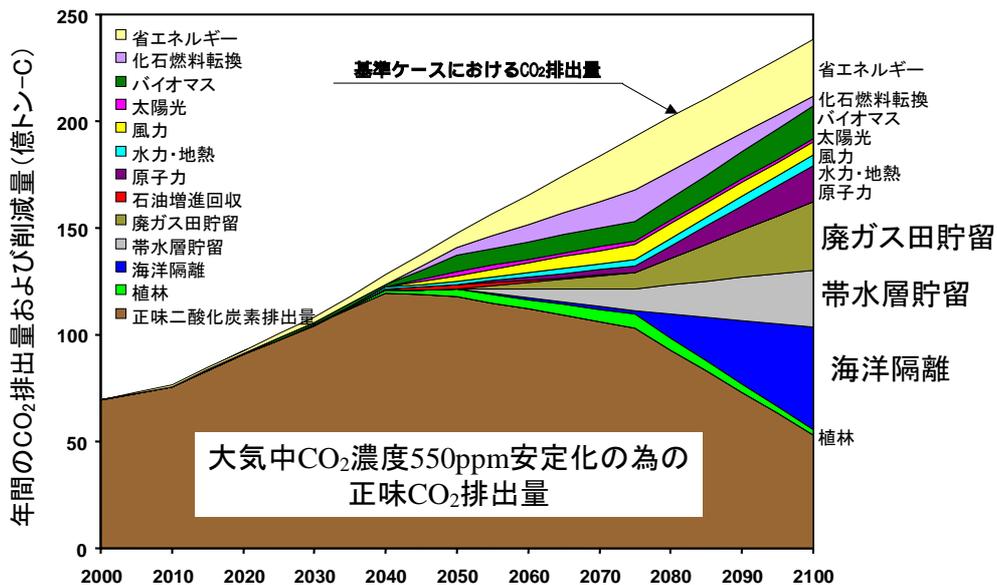


7

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (2) 二酸化炭素削減効果

- 回収・隔離事業の実現に当たっては、年間1カ所当たり100万t-CO₂、国内全体で、1000万t-CO₂の隔離が想定されている。
- 京都議定書において、日本は1990年ベースで6%の二酸化炭素削減が義務付けられており、そのうちの2%を革新的技術で削減することを想定している。日本の年間二酸化炭素排出量は約12億t-CO₂なので、1000万t-CO₂の隔離が実現できれば目標値にかなり近づくことができると考えられる。

● CO₂排出量の予測: 施策とその効果



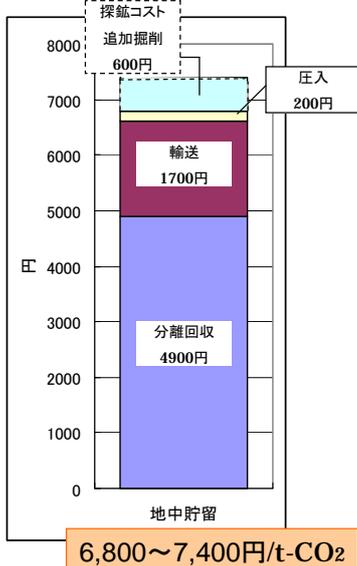
(出所)財団法人 地球環境産業技術研究機構 (RITE) 第14回地球環境産業技術動向調査報告会 資料

8

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (3) 二酸化炭素回収・隔離技術の経済的評価

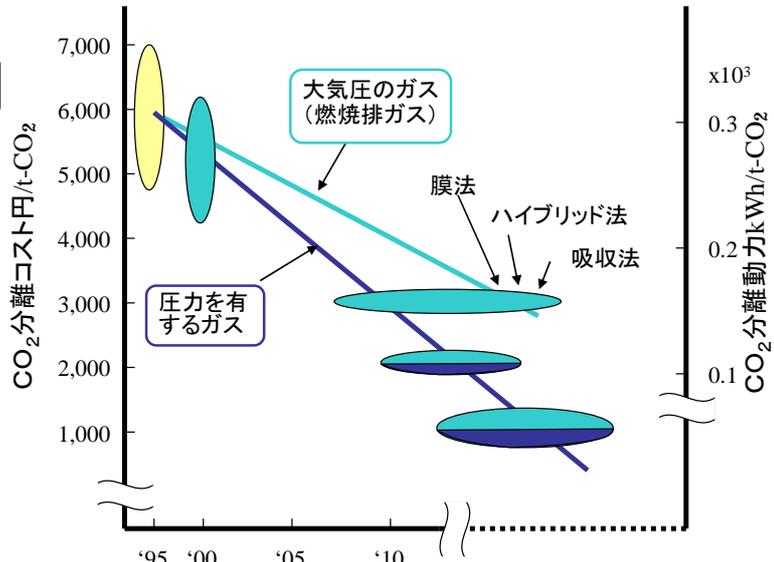
- 二酸化炭素地中貯留のトータルコストは6,800~7,400円/t-CO₂と試算されている(探鉱コストや追加掘削費は必須でないため)。そのコストの7割が分離・回収コストで圧入のコストは非常に小さい。
- RITEでは、②のように分離・回収技術のコスト低減を図ろうとしている。将来的には、様々な方法で、現在の1/2~1/3のコストを実現する見通しである。圧力を有するガスからの分離は必要エネルギーが少ないため、コスト的にも安くなっている。

① CO₂地中貯留のコスト試算



(出所)NEDO「火力発電プラントからのCO₂回収システムに関する調査」1993

② CO₂分離コスト・動力の見通し



(出所)財団法人 地球環境産業技術研究機構 (RITE) 第14回地球環境産業技術動向調査報告会 資料 9

4. まとめ

- 二酸化炭素は火力発電所等の固定発生源から回収されて隔離される。隔離には海洋隔離と地中貯留が存在する。海洋隔離は環境影響評価等問題点が多く、地中貯留の方が早期実現が可能である。技術課題としてはコストの問題が最も大きく、特に分離・回収プロセスのコスト低減が必須である。吸収法はほぼ完成された技術のため、膜分離法によるブレイクスルーが期待される。隔離に関しては、社会受容性の向上が必要である。
- 二酸化炭素の回収・隔離はEORとしてアメリカで始められ、欧米において盛んに進められてきた。日本においては、回収技術(特に吸収法)は民間ベースで、隔離技術は、財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE)を中心にNEDOや経済産業省の補助金を利用して、研究開発がなされてきた。ノンリグレットな技術ではないため、公的な研究開発・支援が不可欠である。
- 社会受容性向上のためには、技術面だけでなく、法律面の整備や国民の意識の変化(NIMBY問題の解決)が必要である。また、隔離を実施するためには地質データの整備が必須である。隔離の実施のためには、国としてこの技術をどう利用するかを明確化しなければならない。(コスト負担方法、負担者等)
- インパクトとして最大のものは、当然二酸化炭素排出量削減による地球温暖化問題への寄与である。1000万t-CO₂/年の隔離が実現すれば、京都議定書の削減目標の達成はかなり現実的なものになってくると考えられる。経済的なインパクトとしては、二酸化炭素隔離事業の実現とともに、二酸化炭素の排出量に関する制限の緩和による経済活動の活発化という影響が大きいと考えられる。

4. まとめ

(参考)指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

①技術課題に関して

- 二酸化炭素の分離・回収および隔離技術のコストの約7割が分離・回収コストであり、コスト削減が必要である。吸収法はかなり完成された技術であるため、膜分離法によるブレイクスルーが期待される。(関係機関・研究者)
- 地中貯留の実現のためには、社会受容性の向上が必要である。技術的には、圧入した二酸化炭素のモニタリング手法の確立や、シミュレーション技術の高度化が求められる。(関係機関・研究者、企業・研究者)
- 地中貯留の実施のためには、地質データの整備が必要である。現状は石油井、ガス井周辺のデータしか存在しないため、積極的な整備が求められる。(関係機関・研究者、企業・研究者)
- 海洋隔離の実現のためには、技術的には、環境影響評価の高度・精緻化が必要である。(関係機関・研究者、公的研究機関・研究者)

②公的寄与に関して

- 二酸化炭素の回収・隔離技術はノンリグレットな技術ではないため、国による公的な関与が必須である。(関係機関・研究者)
- 実施に向けて国の技術に対するスタンスを明確化し、ただ規模を10倍にするなどではない本当に必要な研究開発を進めるべきである。(関係機関・研究者)
- RITEに一括委託したことにより、キャッチアップによる一応の成果は期待できるが、大学等がプロジェクトに主体的に関わることができず、基礎研究の広がりが少なくなっている。国家のエネルギー戦略上必須の技術であり、基盤技術のいくつかは国内技術として抱えておく必要があると考える。(公的研究機関・研究者)
- 国の地質調査所を前面に出すことにより、データの信頼性が増し、国際的なコンセンサスが得やすくなることが考えられる。(公的研究機関・研究者)
- 貯留地域が環境にやさしい地域として認められるなど、NIMBY問題を解決するための方策を考え出さなければならない。原子力発電所のような補助金政策も考えられるが、原発ほどのリスクはなく、別の方策の方が有用であることも考えられる。(関係機関・研究者)

3-7 カーボンナノチューブ・デバイス技術(ナノテクノロジー・材料)

(1) 事例分析に当たって

① 対象とした技術の概要

本事例分析では、当該技術を以下のように捉え、調査・分析の対象とした。

- カーボンナノチューブを研究(発見、創製)する技術。
- カーボンナノチューブを製造する技術。
- カーボンナノチューブ・デバイス技術。

② 調査方法および対象

本事例調査では、当該技術に関する有識者等へのヒアリング調査を主とし、さらに文献調査・統計データ分析を実施した。

ヒアリング調査の対象を以下に示す。

- 学識経験者(大阪府立大学教授、名古屋大学大学院理学研究科教授、名古屋大学大学院工学研究科教授)3名

(2) 技術動向

カーボンナノチューブ(以下、「CNT」と略す)は、ダイヤモンド構造、グラファイト構造、非結晶質構造、フラーレン分子に次ぐ、5番目の固体状炭素物質として 1991 年に日本で最初に発見された(最初の発見は、グラフェン・シートが入れ子状に積層された「多層 CNT」)。CNT の発見は偶然であり、発見には高分解能電子顕微鏡(1971 年開発)およびラマン分光法による分析が大きく寄与している。CNT には素材として優れた形状・物性があり、電気機器分野、医療・計測機器分野等のデバイス応用分野を始め、コンポジット分野、エネルギー分野等、幅広い分野において新技術実現の可能性がある。

1993 年に 1 枚のグラフェン・シートを丸めた形状の「単層 CNT」が、1998 年にはホーン状の形状を持った「カーボンナノホーン」とフラーレンが内包された単層 CNT「ピーポッド」が発見された。これらの CNT は、アーク放電法(1992 年;多層 CNT の合成に適す)、レーザ蒸発法(1996 年;高純度の単層 CNT、カーボンナノホーンの合成に適す)等によって大量合成が可能となった。また、触媒化学的気相成長法(2000 年;CCVD 法)により、「カーボンナノコイル」の創製および単層 CNT、多層 CNT・2枚のグラフェン・シートが重なった「2層 CNT」の作り分けが可能となった。

デバイス技術としては、1999 年に CNT の電子デバイス応用技術の開発、2001 年に CNT を電極に用いた小型燃料電池の開発、2002 年に LSI 化が可能な CNT・トランジスタの動作、2004 年にシリコン基板上での単層 CNT の配列に成功している。また、走査型グローブ顕微鏡探針、ランプ等は既に応用製品化しており、FED エミッタは数年後の応用製品化に向けて現在、試作段階にある。しかし、IC・LSI・トランジスタ等、集積回路への応用には、CNT の構造制御、成長制御(位置・長さ・方向の制御、単層・多層の作り分け制御、半導体・金属的特性制御)等が必要であり、形成率 100%の高クオリティ CNT の大量合成に向けて製造技術を高めるために、技術的なブレイクスルーが必要であるとみられている。また、医療分野として、ドラッグ・デリバリー・システムへの応用化があるが、現段階では基礎検討段階であり、同じくブレイクスルーが必要であるとみられている。

CNT(多層 CNT)は 1991 年に日本で発見されたが、その後、研究者・研究機関の不足および技術に対する公的支が不足していた事により、日本は CNT の研究開発で世界に遅れをとった。特に、米国はこの間、ナノテク推進政策により、新素材の発見・大量合成・応用研究を進め、日本との差を広げていった。日本では、1990 年代後半以降、当該技術に対する本格的な公的研究開発が始まり、CNT 研究・製造技術・デバイス技術に寄与している。

(3) 公的研究開発・支援の位置付け

当該技術に対する本格的な公的研究開発・支援は 1990 年代後半に入ってからである。大学および民間への研究開発資金提供、産学連携による研究開発等により、当該技術の進展に寄与している。当該技術開発に寄与があったと指摘された公的研究開発・支援について、主なものを以下に示す。

(大学や公的研究機関における基礎研究の継続・蓄積)

- 「ナノチューブ状物質プロジェクト」(旧科学技術振興事業団、1998年度～2002年度)では、カーボンナノホーンおよび超微細 CNT が発見された。また、ピーポッドの合成が行われた。
- 「新世代カーボンナノチューブの創造、評価と応用」(科学技術振興機構、2003年度～2008年度)では、高純度単層 CNT、2層 CNT の創製が行われた。加えて、CNT の電子物性の実験的研究・電子デバイスへの応用に向けた研究が行われた。
- CNT の研究には「高分解能電子顕微鏡」、「ラマン分光装置」等の装置が必要であるが、装置開発に過去の旧文部省科学研究費補助金が役立ったと思われる。

(産学官連携によるナショナルプロジェクト)

- 「炭素系高機能材料技術(フロンティアカーボンテクノロジー)プロジェクト」(経済産業省、1998年度～2002年度)は、CNT(多層)の大量合成技術を確立し、国内 36ヶ所の研究機関にサンプルの提供を行った。
- 「ナノカーボン応用製品創製プロジェクト¹⁾」(経済産業省、2003年度～2005年度)では、CNT の構造制御・量産技術・物理的・化学的機能制御技術に関する研究開発、高性能高信頼の LSI ビア配線技術・携帯機器用燃料電池の電極に適した触媒担持ナノカーボン材料の開発が行われた。
- 「カーボンナノチューブ FED プロジェクト¹⁾」(経済産業省、2003年度～2005年度)では、FED エミッタの開発に向けて、電子放出特性のばらつきを抑制した均質電子源の開発、CNT を用いた FED パネルの実現を目指した研究開発が行われた。

インパクトアンケート調査結果では、公的研究開発・支援の寄与度合いは、大と中の合計が回答者の約 78%とナノテクノロジー・材料分野の平均と比較して大きい。また、基礎・応用の寄与が大きく、公的研究開発が多いとの回答も特徴的である。ヒアリング調査においても同様の見解が得られている。

(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

カーボンナノチューブ・デバイス技術は、電子機器分野や医療、計測機器分野において、以下の各インパクトを実現すると期待されている。

- 経済的インパクト
 - 新規市場、ビジネスの創出による経済効果。
 - － 2010年にディスプレイ市場約 1800 億円、集積回路市場約 1200 億円
 - 利用産業での、コスト削減、開発期間短縮、製品・サービスの競争力向上(波及効果)。
 - 利用産業での雇用拡大(2万人以上)。
- 社会的インパクト
 - 温暖化防止(CO₂排出削減)による地球環境負荷軽減。
 - エネルギー消費の大幅削減(省エネルギー)。
 - 医療技術の向上により健康な長寿社会の実現。
- 国民生活へのインパクト
 - 小型電子機器による利便性向上。
 - ユビキタス社会の実現を通じた生活スタイルの変革。
 - 国民の健康維持・向上。

インパクトアンケート調査結果では、経済へのインパクトが特に大きい(大および中との回答が、82%)との回答が特徴的である。国民生活へのインパクトが大きいとの回答が比較的少ない(大との回答は 23%)のは、経済的インパクトが非常に大きいため、相対的に小さく回答したものと考えられる。

¹⁾ 経済産業省経済活性化プロジェクト「フォーカス 21」の一環として実施された。

(5) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見(参考)

① 全般的課題

- 日本は、CNT を研究している機関が少なく世界に遅れをとっている。日本で最初に、CNT(多層 CNT)が発見されたものの、それ以降の、新素材の発見・大量合成・応用研究は世界が先行していた。CNT に対する公的支援は1990年代後半から始まったが、1990年代前半に第一発見者の飯島氏を中心として組織的に支援されていれば、状況は違ったと思われる。(学識経験者)
- CNTの世界は1990年代に日本で始まったが、その後、米国のナノテク推進政策によって、日本は米国に追い抜かれてしまった。当時、日本には若く優秀な研究者がいたが、ナノカーボンに関する研究開発が国の政策として実施されることがなかった。(学識経験者)

② 今後の研究開発・支援のあり方についての意見

- ナノテクノロジーとは「設計指針通りに原子、分子を配列し、ナノメートルオーダーの構造物を作り、サイズ特有の機能を発現させる技術」と定義される。日本では CNT の研究開発に対し上記定義に沿った公的支援が不足しており、今後、国からの支援を期待する。(学識経験者)
- CNT のように、今後新しい研究開発が必要となる時は、行政に対し、現場の研究者の意見を適確に提言出来るようなシステムを日本に根付かせて欲しい。(学識経験者)
- 集積回路等、応用または実用化が先の分野については、基礎研究が途切れる事がない様、継続的な支援を期待する。一方、センサ・燃料電池等、応用化が早い分野については、国のプロジェクトにより複数の企業が競争できる環境作りを期待する。(学識経験者)
- CNT の応用または実用化に対する公的支援も大事であるが、CNT に続く、次の新しい素材を発見すべく、サイエンスとしての物性研究に対する公的支援を、少額でも構わないので長く継続的に実施して欲しい。(学識経験者)
- CNT は発見の歴史である。プロジェクトをやりながら、偶然発見できることもある。発見は偶然であるが、そこに至るまでのプロセスは必然である。そのためにも短期的なプロジェクトだけでなく、継続的な公的支援を期待する。(学識経験者)
- 将来を支える青少年が材料科学に興味を持つように、国による施策を従来以上に実施して欲しい。(学識経験者)

1. 技術動向

(1) 優れた素材としてのカーボンナノチューブ



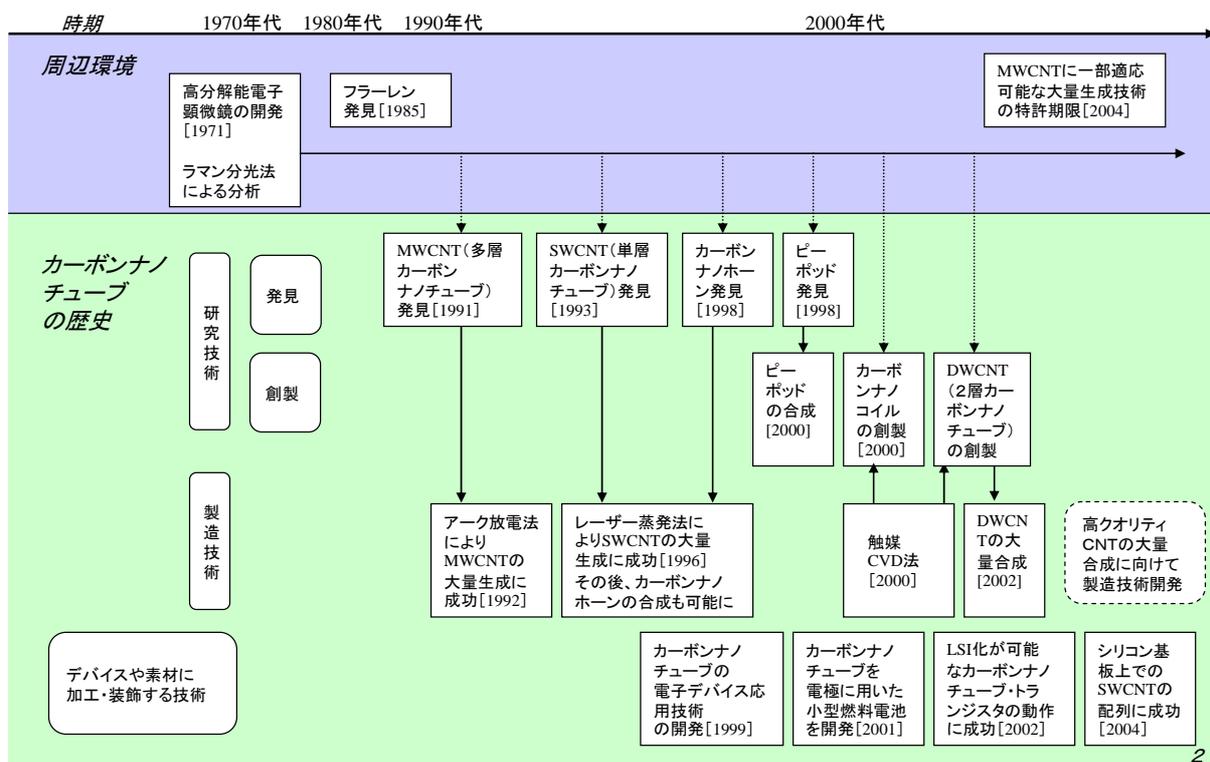
(注)カーボンナノファイバーは、カーボンナノチューブと特徴が異なり、主にコンポジット材料として使用される事が多い。本資料はデバイス技術に焦点を当てている為、カーボンナノファイバーについては取り扱わないものとする。

(出所)各種資料よりMRI作成

1

1. 技術動向

(2) カーボンナノチューブの歴史



1. 技術動向

(3) カーボンナノチューブの主な合成法

	アーク放電法	レーザー蒸発法	化学的気相成長法(CVD法)
単層カーボンナノチューブ	○(触媒:注1)	○(触媒:注1)	○(触媒:注1)
多層カーボンナノチューブ	○	○	○(触媒:注1)
反応温度	3000°C以上	1000~1400°C以上	500~1200°C以上
炭素原料	グラファイト	グラファイト	炭化水素
触媒	NiY, Coなど	NiCoが主	Fe, Co, Niなど
グラファイト化(注2)	○	○	△
炭素不純物(注3)	×	○~△	○~△
収量	1日10g	1日数g	1日数kg
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 二つの炭素棒を電極にて放電 結晶性の高い多層カーボンナノチューブに適す 炭素棒に金属を混ぜて使用すると単層カーボンナノチューブが成長(欠陥は少ないが合成量は少ない) 	<ul style="list-style-type: none"> 高純度の単層カーボンナノチューブに適す カーボンナノホーンの合成も可能 	<ul style="list-style-type: none"> 単層カーボンナノチューブ、多層カーボンナノチューブの両方を大量に合成することが可能 触媒化学的気相成長法(CCVD法(注4))では、単層、多層、二層カーボンナノチューブの作り分けが可能

(注1) 触媒の存在下でのみ成長することを意味する

(注2) ○(合成によりグラファイト化が可能)、△(結晶性が低く、層がきれいに揃わない。結晶性を高くする為に、不活性雰囲気中で2500°C以上の温度で焼成する必要がある)

(注3) ○(炭素不純物を含まない)、△(炭素不純物を含む可能性がある)、×(炭素不純物を含む)

(注4) 化学的気相成長法の一つ

(出所) ナノカーボン材料((独)産業技術総合研究所編)を一部修正

3

1. 技術動向

(4) カーボンナノチューブの応用分野

分野	基礎検討	試作段階	応用化段階
電子機器	<ul style="list-style-type: none"> 集積回路(IC、LSI、トランジスタ、マイクロ配線等)(DWCNT、ビーボッド) ☆ センサ(バイオ) 光通信・光スイッチ 	<ul style="list-style-type: none"> FEDエミッタ(DWCNT、MWCNT) ☆ センサ(ガス・振動) 	<ul style="list-style-type: none"> ランプ
医療・計測機器	<ul style="list-style-type: none"> ドラッグ・デリバリー・システム(ビーボッド) 		<ul style="list-style-type: none"> SPM(走査型プローブ顕微鏡)探針 ☆
参考	コンポジット(複合材料)		<ul style="list-style-type: none"> 高分子型帯電防止剤 電磁波吸収体 自動車用樹脂(SWCNT)
	エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> 電気2重層キャパシタ(カーボンナノコイル) 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料電池(カーボンナノホーン) ☆ リチウム電池(Liイオン電池負極)(MWCNT)

* ☆はカーボンナノチューブ単体で使用するアプリケーションを示す

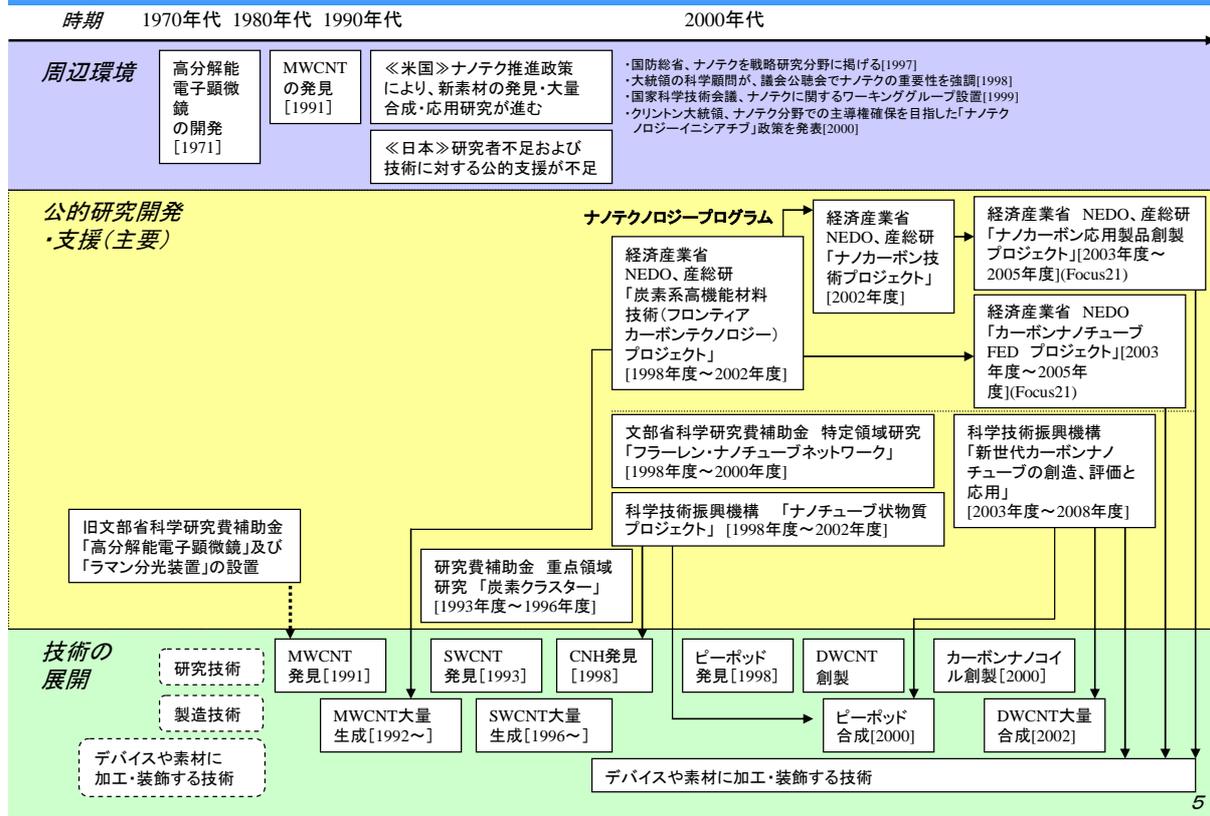
* 括弧内は、使用が期待される主な素材を示す

(出所) 各種資料よりMRI作成

4

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(1) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け

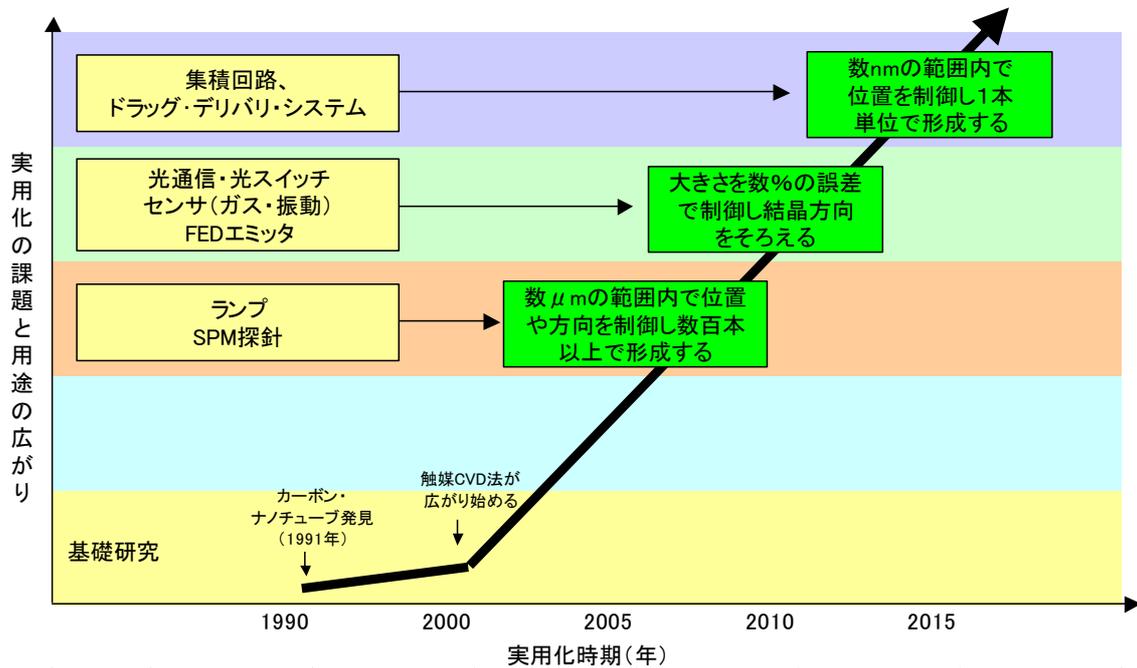


2. 公的研究開発・支援の位置付け

(2) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け

公的研究開発・支援	委託大学・企業等	寄与の対象	寄与の形態・内容等(主要例)
経済産業省 NEDO、産総研 「炭素系高機能材料技術(フロンティアカーボンテクノロジー)プロジェクト」[1998年度~2002年度](全体で約66億円)	産総研、昭和电工 (全11技術開発のうち当該技術のみ)	ナノチューブ合成技術の開発(物質創製技術の開発)	・カーボンナノチューブの大量合成技術の確立 -200g/Hrの大量合成技術の確立 -MWCNTのサンプル提供と各種応用分野での用途探索、実用化研究(国内36件のサンプル配布フラットパネルディスプレイへの応用)
経済産業省 NEDO 「ナノカーボン技術プロジェクト」[2002年度](約6.6億円)	ファイナセラミックスセンター、産総研、東レ、日本電気、三菱重工、GS Iクレオス、産業創造研究所、日機装、富士通、三菱レイヨン、NOK、長崎大学、山形大学、九州大学、千葉大学	単層カーボンナノチューブの構造制御並びに合成技術を開発 物理的・化学的機能並びに電気的機能の相関を明らかにし、それら機能の制御技術を開発	・本事業の成果全般は、「ナノカーボン応用製品創製プロジェクト(フォーカス21)」において活用
経済産業省 NEDO 「ナノカーボン応用製品創製プロジェクト(フォーカス21)」[2003年度~2005年度](2003年度は約12億円)		構造制御・量産技術の開発 物理的・化学的機能制御技術(携帯機器用燃料電池の電極に適した触媒担持ナノカーボン材料)の開発 電気的機能制御技術(高性能、高信頼のLSIビア配線技術)の開発 構造評価技術の開発 技術の体系化	・構造制御・量産技術、物理的・化学的機能制御技術に関する研究開発の推進 ・従来よりも小型大出力した携帯機器用燃料電池を試作し、携帯電話ならびにノートパソコンの動作実証に成功 ・CVD法を用いてピアホール内にナノチューブを選択配向成長する技術の開発に成功
経済産業省 NEDO 「カーボンナノチューブFEDプロジェクト(フォーカス21)」[2003年度~2005年度](2003年度は約7億円)	ファイナセラミックス技術研究組合、三菱電機、ノリタケカンパニーリミテド、旭硝子、日立ディスプレイズ	均質電子源の開発 パネル化及びディスプレイ性能評価の開発	・CNT膜の均質化技術、表面処理技術、微細エミッタ作製技術等の均質電子源の開発が推進 ・パネル化技術の開発、ディスプレイ性能評価技術の開発が推進
旧科学技術振興事業団 「ナノチューブ状物質プロジェクト」[1998年度~2002年度]	NEC筑波研究所、名城大学、CNR Sエミー・コットン研究所(仏)	カーボンナノチューブの生成メカニズムや物性等に関する研究開発	・カーボンナノホーンの発見 ・超微細カーボンナノチューブの発見 ・ビーボッドの合成
科学技術振興機構 「新世代カーボンナノチューブの創造、評価と応用」[2003年度~2008年度]	名古屋大学、青山学院大学、東北大学、富士通、東レ、東レリサーチセンター	新世代カーボンナノチューブ(高純度・高品質のSWCNT、MWCNT、DWCNT)の創製、評価、電子物性の実験的・理論的研究及び電子デバイス応用に向けた研究開発	・ビーボッド、高純度単層・DWCNTの創製 ・新規CNTの電子物性の理論的研究の推進 ・新規CNT・ビーボッド物質の電子物性の実験的研究及び電子デバイスへの応用の推進

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (1) 応用分野へのカーボンナノチューブ普及イメージ 1



(出所)NIKKEI ELECTRONICS よりMRI作成

7

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (2) 応用分野へのカーボンナノチューブ普及イメージ 2

SPM探針は既に実用化。集積回路、ドラッグ・デリバリー・システムへの応用は、構造制御技術・量産技術・成長制御技術等に対するブレイクスルーが必要と思われる。

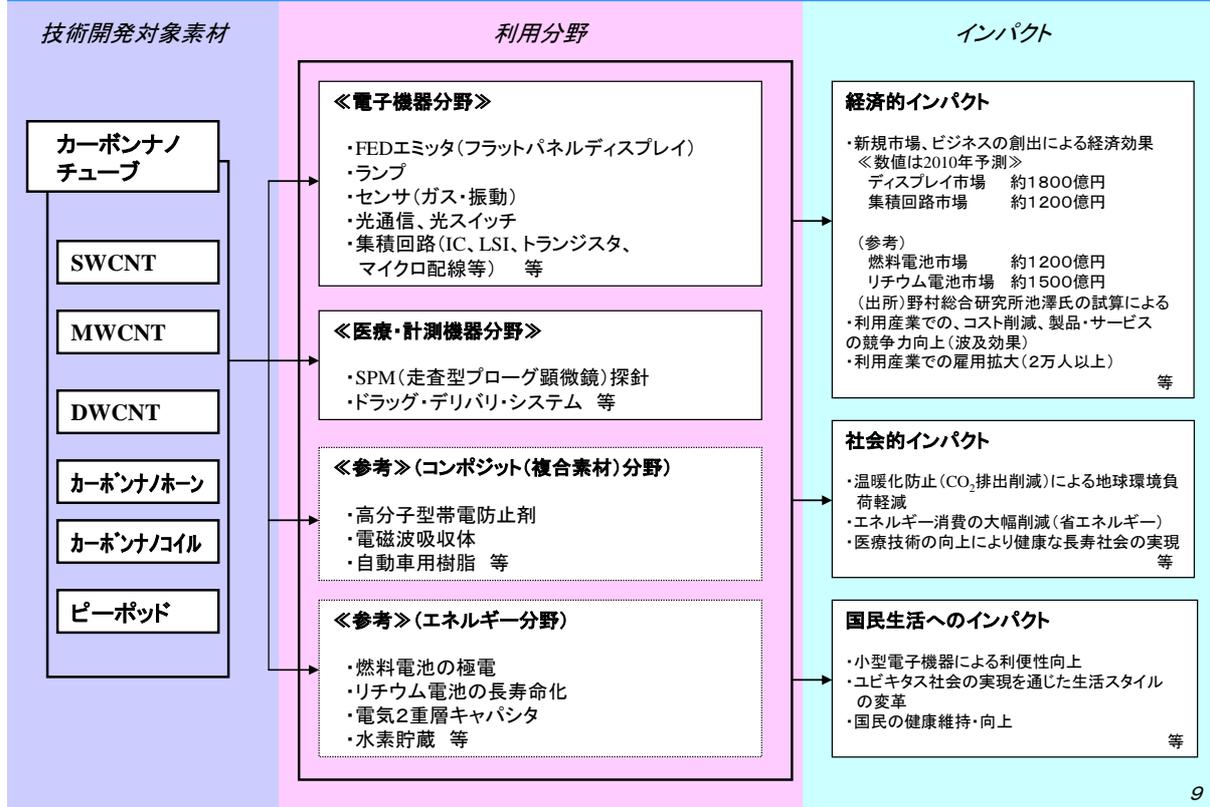
分野	用途	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2015年以降	
電子機器	FEDエミッタ										
	ランプ										
	センサ(ガス、振動)										
	光通信・光スイッチ										
	集積回路										
医療/計測機器	SPM 探針										
	ドラッグ・デリバリー・システム										
参 考	コンポジット	高分子型帯電防止剤									
		電磁波吸収体									
		自動車用樹脂									
	エネルギー	燃料電池									
		リチウム電池									
		電気2重層キャパシタ									
		水素吸蔵									

* 緑色は、実用化時期

(出所) 矢野経済研究所資料よりMRI作成

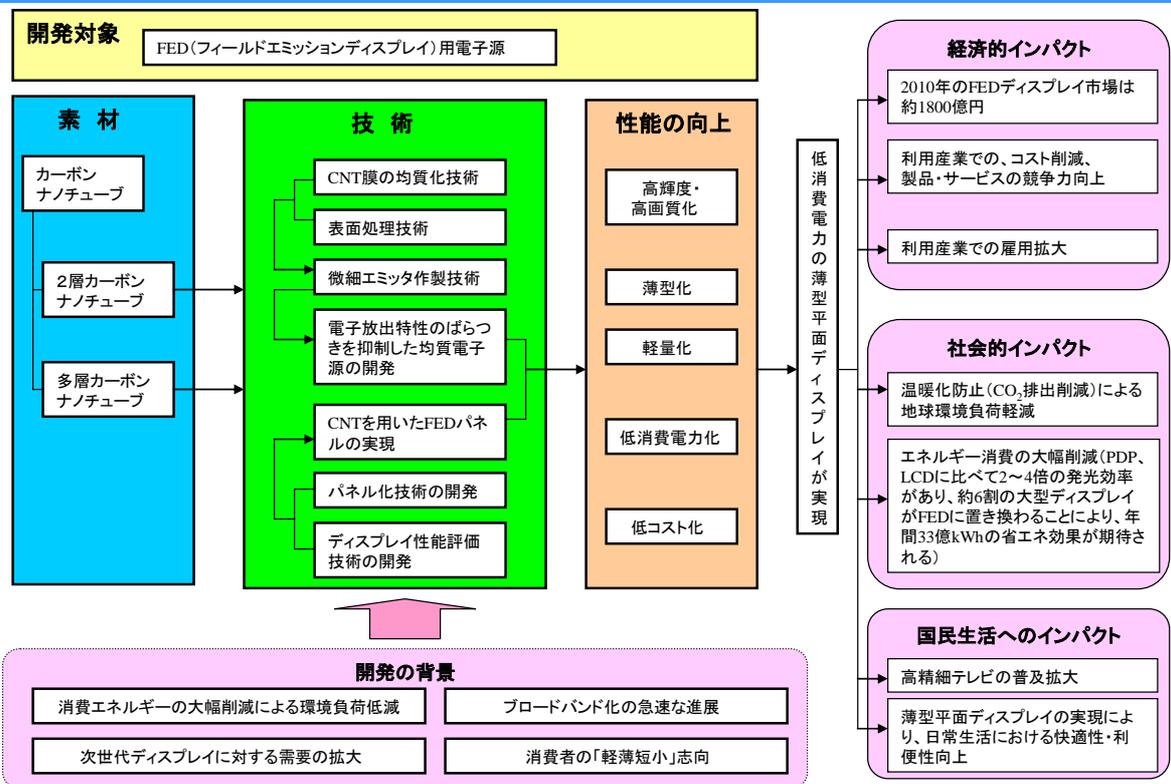
8

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (3) 技術を起点とした各種インパクトと実現プロセス



9

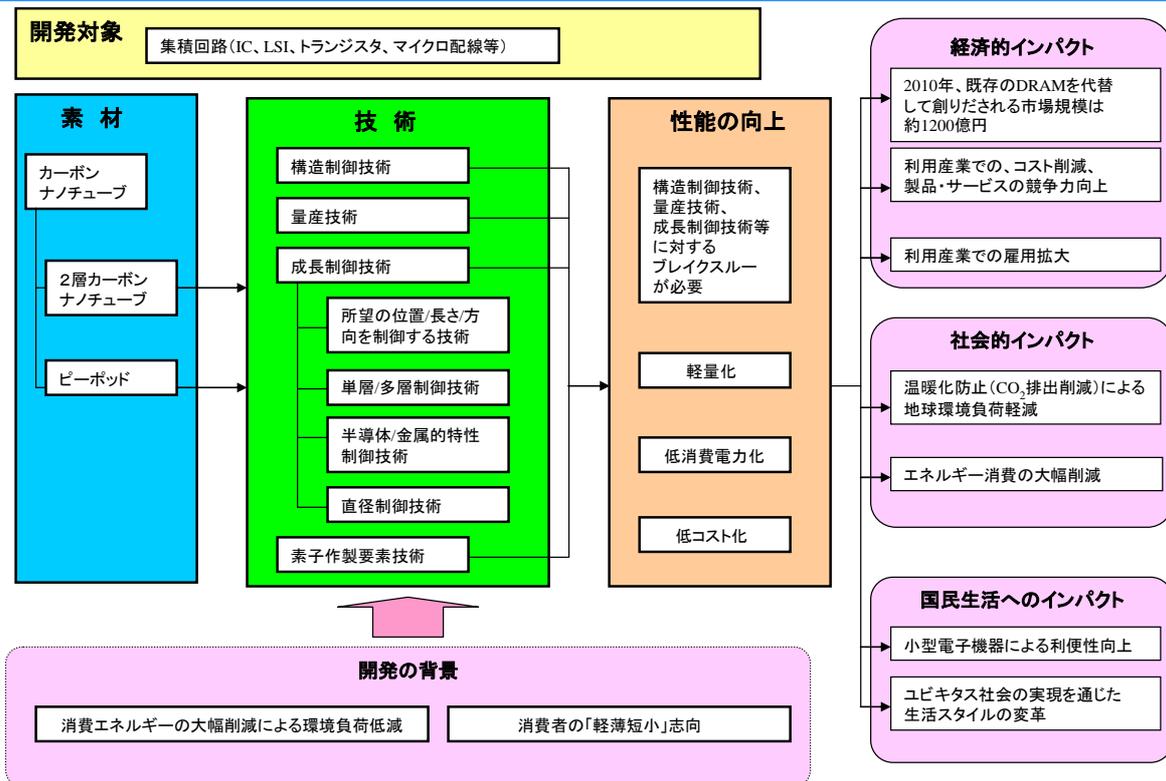
3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (4) 電子機器(デバイス)分野における当該技術の利用とインパクト実現プロセス(1)



10

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

(5) 電子機器(デバイス)分野における当該技術の利用とインパクト実現プロセス(2)



11

4. まとめ

- CNTには素材として優れた形状・物性があり、電気機器分野、医療・計測機器分野等のデバイス応用分野を始め、コンポジット分野、エネルギー分野等、幅広い分野において新技術実現の可能性がある。
- CNTは高分解能電子顕微鏡およびラマン分光法による分析により、1991年に日本で最初に発見されたが、その後、研究者・研究機関の不足および技術に対する公的支援が不足していた事により、日本はCNTの研究開発で世界に遅れをとった。特に、米国はこの間、ナノテク推進政策により、新素材の発見・大量合成・応用研究を進め日本との差を広げていった。
- 当該技術に対する本格的な公的研究開発、支援は1990年代後半に入ってからである。大学および民間への研究開発資金提供、産学連携による研究開発等により、当該技術の進展に寄与したとみられる。
- 今後は、応用または実用化が早期に見込まれる分野に対する公的支援をする一方で、応用または実用化が先の分野については、基礎研究が途切れる事がない様、継続的な支援が期待される。
- インパクトとしては、ディスプレイ市場・集積回路市場・医療市場(デバイス応用分野以外として燃料電池市場・リチウム電池市場等)における新規ビジネスの創出、雇用拡大等(経済的インパクト)および、エネルギー消費の大幅削減、長寿社会の実現等(社会的インパクト)がある。国民生活へのインパクトとしては、小型電子機器による利便性向上、国民の健康維持・向上等がある。

12

4. まとめ

(参考) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

① 全般的課題

- 日本は、CNTを研究している機関が少なく世界に遅れをとっている。日本で最初に、CNT(MWCNT)が発見されたものの、それ以降の、新素材の発見・大量合成・応用研究は世界が先行していた。CNTに対する公的支援は1990年代後半から始まったが、1990年代前半に第一発見者の飯島氏を中心として組織的に支援されていれば、状況は違ったと思われる。(学識経験者)
- CNTの世界は1990年代に日本で始まったが、その後、米国のナノテク推進政策によって、日本は米国に追い抜かれてしまった。当時、日本には若く優秀な研究者がいたが、ナノカーボンに関する研究開発が国の政策として実施されることがなかった。(学識経験者)

② 今後の研究開発・支援のあり方についての意見

- ナノテクノロジーとは「設計指針通りに原子、分子を配列し、ナノメートルオーダーの構造物を作り、サイズ特有の機能を発現させる技術」と定義される。日本ではCNTの研究開発に対し上記定義に沿った公的支援が不足しており、今後、国からの支援を期待する。(学識経験者)
- CNTのように、今後新しい研究開発が必要となる時は、行政に対し、現場の研究者の意見を適確に提言出来るようなシステムを日本に根付かせて欲しい。(学識経験者)
- 集積回路等、応用または実用化が先の分野については、基礎研究が途切れる事がない様、継続的な支援を期待する。一方、センサ・燃料電池等、応用または実用化が早い分野については、国のプロジェクトにより複数の企業が競争できる環境作りを期待する。(学識経験者)
- CNTの応用または実用化に対する公的支援も大事であるが、CNTに続く、次の新しい素材を発見すべく、サイエンスとしての物性研究に対する公的支援を、少額でも構わないので長く継続的に実施して欲しい。(学識経験者)
- CNTは発見の歴史である。プロジェクトをやりながら、偶然発見できることもある。発見は偶然であるが、そこに至るまでのプロセスは必然である。その為にも短期的なプロジェクトだけでなく、継続的な公的支援を期待する。(学識経験者)
- 将来を支える青少年が材料科学に興味を持つように、国による施策を従来以上に実施して欲しい。(学識経験者)

3-8 高温超伝導材料(ナノテクノロジー・材料)

(1) 事例分析に当たって

① 対象とした技術の概要

本事例分析では、当該技術を以下のように捉え、調査・分析の対象とした。

- 超伝導現象は、極低温で電気抵抗がゼロになる現象であり、これを利用して、強磁場発生や送電等への様々な応用が期待される。
- 中でも、臨界温度が液体窒素(77.3K)以上の高温超伝導材料は、液体窒素が豊富で安価であること等から、幅広い実用応用が期待されている。
- 高温超伝導材料として、ビスマス系酸化物(臨界温度 110~125K)は、臨界局面が広い、冷却方式の適用範囲が広い、運転温度が高い、臨界磁場が高いという特徴から最も実用応用が期待される。イットリウム系酸化物は、加工が難しいことや臨界電流密度を高めることが困難であることから応用が進んでいない。

② 調査方法および対象

本事例調査では、当該技術に関する有識者等へのヒアリング調査を主とし、さらに文献調査・統計データ分析を実施した。

ヒアリング調査の対象を以下に示す。

- 学識経験者(芝浦工業大学工学部教授)1名
- 民間研究機関(電力中央研究所)1名
- 企業(電線メーカー)1名

(2) 技術動向

超伝導現象は1911年にオランダで発見されたが、日本では1960年~1970年代における旧電子技術総合研究所でのNb系の超伝導材料等の発見があった。但し、従来の超伝導材料は、臨界温度が液体ヘリウム(4.2K)以下のものが必要であり、液体ヘリウムが高価で希少であることから、研究用超伝導磁石や医療用および分析用のMRI/MRS等に利用が限られていた。

1986年、IBMチューリッヒ研究所にてランタン系酸化物による超伝導材料(臨界温度:30K付近)が発見され、東京大学工学部等での追試や別の材料系での発見を受けて、この分野の研究に全世界で短期間に研究者が殺到した。1987年には、ヒューストン大学で臨界温度92Kというイットリウム酸化物による超伝導材料が発見された。その後、イットリウム系酸化物、またビスマス系酸化物など、臨界温度が液体窒素(77.3K)以上の高温超伝導材料が次々に発見され、豊富で安価な液体窒素の利用が可能であることから、幅広い実用応用が期待されるようになった。イットリウム系高温超伝導材料は、5-10Tの高磁場でも大きな臨界電流を流すことが短尺で基礎的な実験から確認されており、強磁場を発生する機器応用の面で大きく期待されている。

一方、1988年に発見されたビスマス系酸化物による高温超伝導材料(臨界温度110~125K)は、臨界局面が広い、冷却方式の適用範囲が広い、運転温度が高い、臨界磁場が高いという特徴から最も実用応用が進んだ。1990年代末~2000年代にかけては、材料開発に加え、主に企業が主体となって線材化技術、薄膜化技術および量産技術(加圧焼成法等)が開発され、応用製品の開発も進んだ。中でも超伝導送電への応用は、線材の開発を経て超伝導ケーブルの実証段階に至っている(100mケーブル実証試験の1998~2002年での実施を経て、2001年より500mケーブル実証試験を行っている)。

その他の産業応用としては、前述の医療用および分析用のMRI/MRSに加え、高磁場応用(分離、磁配向等)、超伝導電力機器(発電機、モーター、変圧器、リニアモーター、限流器)、超伝導軸受け(フライホイール、磁気軸受け)、エレクトロニクス(超伝導LSI技術)等への応用を目指して多くの研究が取り組まれている。日本は学術・基礎研究では世界をリードしているが、応用段階では、欧米のベンチャー企業が研究開発のための資金調達で有利と言われており、日本のリードが縮小する可能性がある。

(3) 公的研究開発・支援の位置づけ

当該技術開発に寄与があったと指摘された公的研究開発・支援について、主なものを以下に示す。

(大学や公的研究機関での原理・現象の発見)

- 大学・公的研究機関等における研究開発が高温超伝導材料技術開発全般に寄与した。具体的には東京大学工学部においてランタン系酸化物による超伝導材料が発見され(1986)、また金属材料研究所ではビスマス系酸化物による高温超伝導材料が発見された(1988)。

(民間で実施される応用・実用化試験への資金提供)

- ビスマス系材料製造技術開発:無利子融資(旧科学技術振興事業団、1991～1995)では、大学・公的研究機関において材料製造技術開発(結晶開発等)が行われた。またメーカーへの資金提供によりビスマス系材料製造技術開発がなされた。
- 地域コンソーシアム・プロジェクト(経済産業省)はメーカーへの資金提供により、応用製品として、800kVA や 1MVA の変圧器の開発がなされた。

(産学官連携によるナショナルプロジェクト)

- 国際超伝導産業技術研究センターでは、多くの産業から企業出身者を受け入れながら(集中研方式)、研究開発が行われ(経済産業省/NEDO、1988～)、これまでに超伝導バルク、超伝導線材、及び超伝導素子に関して材料としての性能を向上させてきた。また、メーカーへの資金提供により線材化技術開発において、基盤技術開発を行うとともに、累計 300 名程度の企業からの出向者の基礎的な研究能力を高め、各社の技術力向上に貢献したとされる。

(実証試験)

- 交流超伝導電力機器基盤技術研究開発(経済産業省/NEDO、2000～2004)では、ケーブル技術の要素技術開発(接続部分、冷却等)がなされた。また、メーカーへの資金提供により 30mケーブルのモデル試験および 500mケーブルの実証試験がなされた。

インパクトアンケート調査結果では、公的研究開発・支援の寄与度合いは、「大」と「中」の合計が回答者の約 80%強であり、大きい。

(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

当該技術は、超伝導ケーブル(送電用)としての利用が産業的に最も大きなインパクトが期待されるほか、超伝導マグネットおよび応用製品、超伝導変圧器・限流器としての利用も期待される。当該技術は多様な応用が期待されるが、以下では、プロトタイプ段階以降の主要なもの示す。

超伝導ケーブル(送電用)としては、電力会社、大規模電力需要化による都市部の地下空間利用等による送電線更新が期待される。超伝導マグネットおよび応用製品としては、半導体産業でのシリコン単結晶の超伝導マグネット引上げ、産業プラントにおける超伝導モーターの利用、および下水道インフラ等での工場廃水や湖沼等の水浄化(物質分離等)での利用が期待される。また電力会社、鉄道、工場等での変圧器(800kVA、1MVA)や限流器の利用が期待される。さらに低温超伝導材料で一部実用化している分析・医療用機器としては医療機関での医療用診断機器(MRI:核磁気共鳴画像診断、SQUID:心臓・脳等の磁気診断)および航空機産業・原子力プラントでの非破壊検査センサ(SQUID)としての利用が期待される。これらの各分野での利用を通じて、当該技術は以下のインパクトの実現が期待されている。

○ 経済的インパクト

- 超伝導ケーブル市場(当面は米国市場が有望、今後 10 年で全米の電力ケーブル更新費用は総額約 10 兆円であり、超伝導利用の可能性が存在する。なお、日本のケーブル更新は約 20 年後に立ち上がる見通しである)。
- 送電ロス低減によるエネルギーコスト節約(日本全国に超伝導ケーブルを張り巡らすと、年間約 3700 億円の節約となる)。
- 超伝導マグネットおよび応用製品、超伝導線材市場の創造(ビスマス系線材市場:国内約 500 億円、世界約 600 億円との予測がある)。
- 鉄道、産業プラント等のエネルギー効率化によるコスト低減。

- シリコンの品質向上による半導体製品の高付加価値化。
 - 社会的インパクト
 - 送電ロス低減や産業・輸送等でのエネルギー効率化による省エネ効果・CO₂削減効果(日本全国に超伝導ケーブルを張り巡らすと、年間約 1570 万t CO₂削減が可能)。
 - 都市稠密地域における空間有効利用・電磁波影響削減。
 - 排水や湖沼の汚染除去による環境改善。
 - 国民生活へのインパクト
 - 送電コスト低減が電力料金低減に反映される際の、家計のゆとり向上(生活の質向上)。
 - 画像診断等の高度化による健康向上(一部実現)。
- インパクトアンケート調査結果では、経済的インパクトとともに社会的インパクトが大きいと見られる(「大」および「中」との回答が、約 80%弱)。

(5) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見(参考)

① 全般的課題

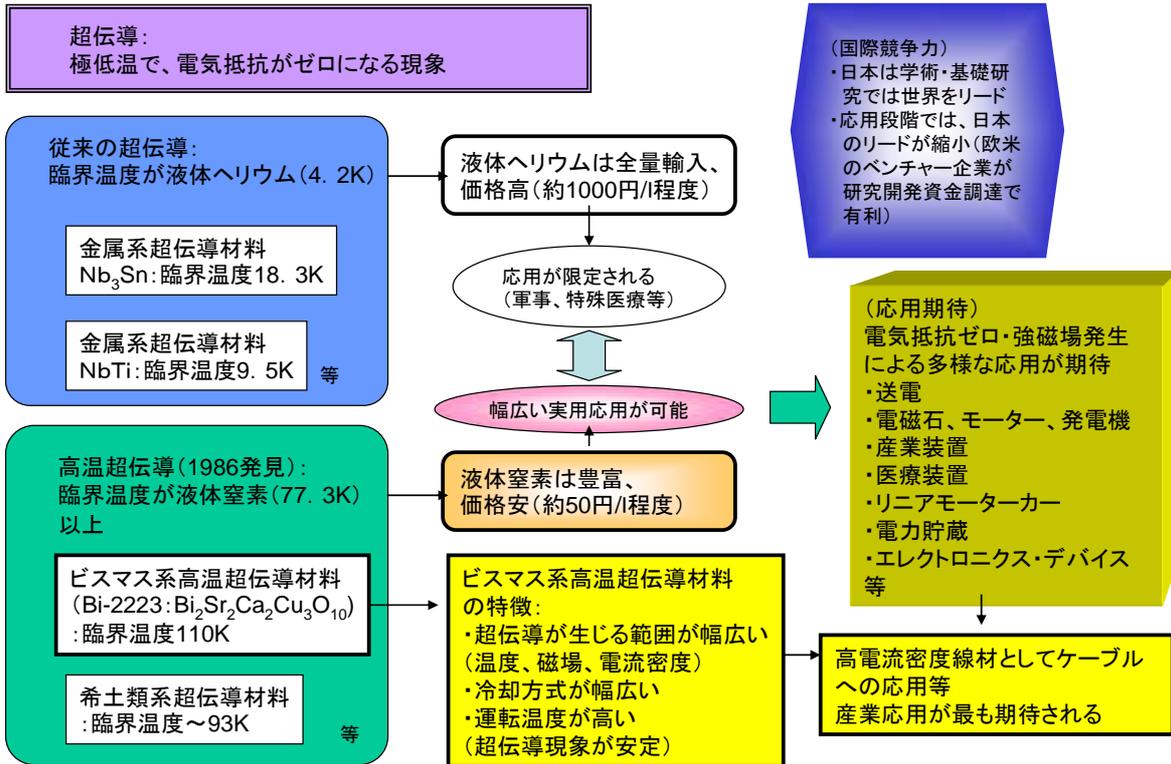
- 超伝導材料の研究は応用フェーズに入ってきており、国は企業が技術開発を進めるべきとするが、企業側から見ると応用から開発にかけてギャップがあり、企業のみでは継続困難である。電力搬送用の超伝導ケーブルは、当面国内の地中ケーブルの新規・更新需要が見込めないため、米国等の海外の送配電計画プロジェクトへの参加がなされている。応用研究段階に入ると欧米のベンチャー企業には機動力があり、製品を販売する前に自社株を公開することで研究資金を得ている。日本の企業では、一部の大企業の中でリスクを自社内で抱えながら研究開発が進められている現状にある。このようなリスクの大きい技術開発では、インパクト実現のため、応用段階以降、信頼と実績を得て市場創出まで、NEDO 等の国のプロジェクトがこれを補う必要がある。(学識経験者、企業・マネージャー)
- 当該技術の市場への導入をしやすくするために、50Hz/60Hz 間での系統連携、IT 機器等での利用を考えた直流での送電などの、電力利用の全般的なしくみの見直しや、整備を国が主導して進めるべき。(企業・マネージャー)

② 今後の研究開発・支援のあり方についての意見

- 超伝導材料による送電線は、近い将来には国内にユーザーがおらず、また、10 年間で費やす長期的な研究開発テーマである。しかし、現在、経済産業省では、1~2年後に実用化をねらう短期的な研究テーマが実施される傾向にある。全ての技術を同じスケールによって評価して、プロジェクトを実施していくのは適切ではない。超伝導材料のように、実用化に長期間費やすプロジェクトは、別のスケールで判断するようにプロジェクトのターゲットの適正化をはかるべきである。(民間研究機関・マネージャー)
- 日本の公的研究開発・支援は、基礎は文部科学省、応用は経済産業省、利用は国土交通省等と、直線的な研究開発段階ごとにばらばらになされている。米国では、これらを垂直的に統合したプロジェクトが、DOD、DOE、NIH 等で、また同一省庁でも複数、並行して進められている。日本でも、このようなプロジェクト(当該分野では、大学・公的研究機関、線材メーカー、冷凍機メーカー、電力会社等の参加した体制)を、必要なら多数並行し、競合的に実施していくことが望ましい。(企業・マネージャー)
- 予算の目的外使用ができないため、貴重な装置の有効活用が遮断された。柔軟なプロジェクト運営体制が望まれる。(学識経験者)
- 公募選定プロセスで、大企業の国家プロジェクトを担当している部署がきれいな企画書を書いてしまうと、他の企業が受注できず、プレゼンテーション能力が高い企業に資金が行くことになってしまう問題がある。(学識経験者)
- 日本の国のプロジェクトは間接費が認められず、これが認められる米国よりも厳しい。また、結果として成功する形が求められるが、本来成功確率が低い国支の支援の意義がある。国のプロジェクトは、米国のようにチャレンジを認める余地を多くすべき。(企業・マネージャー)

1. 技術動向

(1) 技術概念 (高温超伝導材料の概念と応用期待)



7

1. 技術動向

(2) 技術の詳細 (技術体系と各技術の特徴等)

送電用の超伝導ケーブルは実証段階にあり、産業的に最も大きなインパクトが期待される。

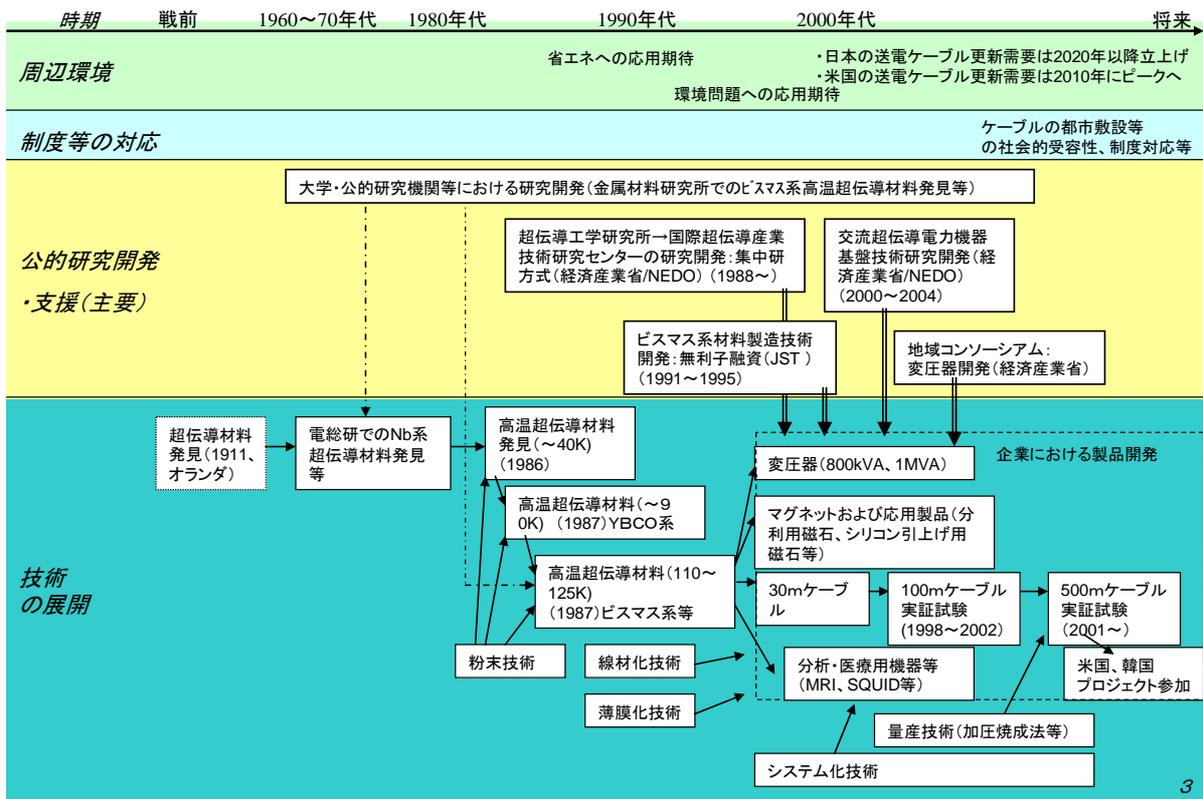
技術体系	導入先	開発状況等
線材応用	・超伝導ケーブル (送電)	・電力会社等
超伝導コイル応用	・核磁気共鳴 (MRI, MRS) ・高磁場応用 (分離、磁配向等) ・超伝導電力機器 (発電機、モーター、変圧器、リニアモーター、限流器)	・医療 ・各種分析 ・鉱業、化学、鉄鋼、下水道等 ・発電所、産業プラント、熱供給事業者、電力会社、工場・倉庫内移動、輸送等
バルク応用	・超伝導軸受け (フライホイール、磁気軸受け) ・磁気シールド	・電力会社、大型プラント、熱供給事業者 等 ・高磁場応用対象等
薄膜応用 (エレクトロニクス)	・超伝導LSI技術 (ロジック回路、交換回路) ・アナログ応用 (フィルタ、ミキサ) ・センシング (SQUID)	・ペタフロップス計算機、大型LAN/WANユーザー ・移動体通信、宇宙開発、気象観測等 ・品質管理、医療、地質探査等

※:一部海外で実用化あり

2

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(1) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け



2. 公的研究開発・支援の位置付け

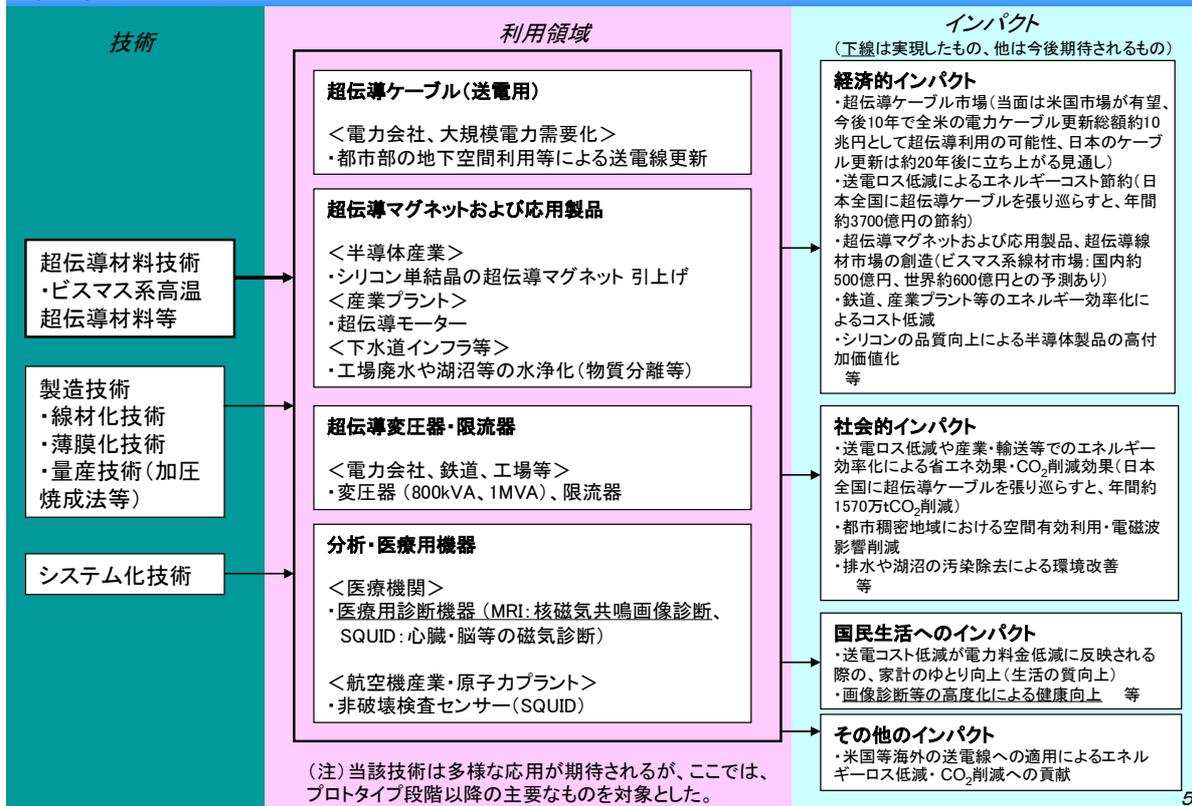
(2) 技術開発への公的研究開発・支援の寄与内容等

材料発見への公的研究機関への寄与、リスクの大きい製品開発や実証試験への公的資金支援の寄与等が見られた。

公的研究開発・支援	寄与の対象	寄与の形態・内容等(主要例)	
		資金提供以外による寄与	メーカーへの資金提供による寄与
大学・公的研究機関等における研究開発	高温超伝導材料	金属材料研究所によるビスマス系高温超伝導材料発見	
超伝導工学研究所→国際超伝導産業技術研究センターの研究開発:集中研方式(経済産業省/NEDO) (1988~)[毎年約100~200億円程度]	線材化技術		線材化に関する基盤技術
	企業の研究者の基礎的な研究能力	集中研方式により累計300名程度の企業からの出向者を輩出し、各社の技術力向上に貢献	
交流超伝導電力機器基盤技術研究開発(経済産業省/NEDO) (2000~2004) [2000年度6.9億円]	ケーブル技術	要素技術開発(接続部分、冷却等)	30mケーブルのモデル試験 500mケーブルの実証試験
ビスマス系材料製造技術開発:無利子融資(JST) (1991~1995)	材料製造技術	大学・公的研究機関参加(結晶開発等)	ビスマス系材料製造技術開発:無利子融資
地域コンソーシアム:変圧器開発(経済産業省)	変圧器開発		800kVA, 1MVAの変圧器開発

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

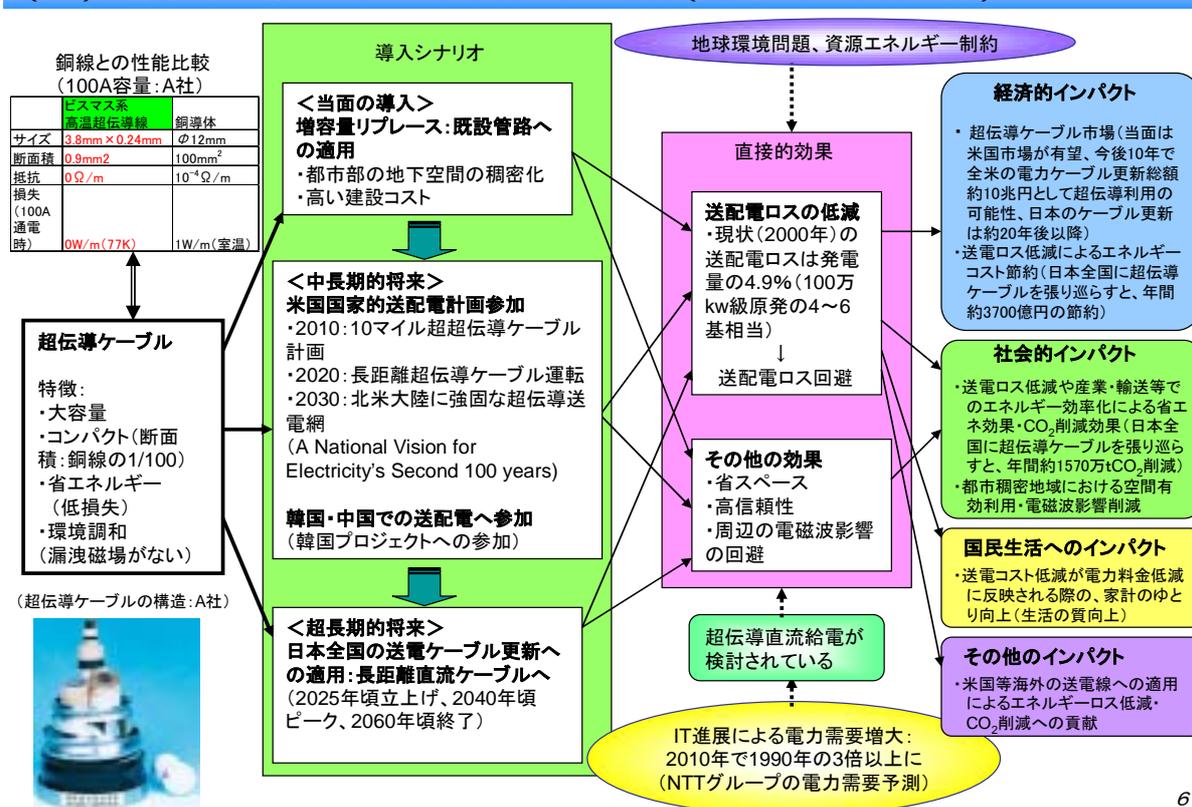
(1) 技術を起点とした各種インパクトと実現プロセス



5

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

(2) 当該技術の利用とインパクト実現プロセス(送電用ケーブルの例)



6

4. まとめ

- 超伝導現象は、極低温で電気抵抗がゼロになる現象であり、これを利用して、強磁場発生や送電等への様々な応用が期待されるが、従来の超伝導材料は、臨界温度が液体ヘリウム(4.2K)以下が必要であり、液体ヘリウムが高価で希少であることから、利用が限られていた。これに対し、臨界温度に液体窒素(77.3K)以上の高温超伝導材料が1986年以来次々に発見され、液体窒素が豊富であり、幅広い実用応用が期待されている。
- ビスマス系高温超伝導材料が、超伝導が生じる範囲が幅広い(温度、磁場、電流密度)、冷却方式が幅広い、運転温度が高い(超伝導現象が安定)という特徴から最も実用応用が期待される。
- 応用用途としては、送電用の超伝導ケーブルは実証段階にあり、産業的に最も大きなインパクトが期待される。他に、医療用および分析用のMRI/MRS、高磁場応用(分離、磁配向等)、超伝導電力機器(発電機、モーター、変圧器、リニアモーター、限流器)、超伝導軸受け(フライホイール、磁気軸受け)、エレクトロニクス(超伝導LSI技術)等の多様な応用開発がなされている。
- 日本は学術・基礎研究では世界をリードしているが、応用段階では、欧米のベンチャー企業の役割が大きく、日本のリードが縮小する。
- 基礎研究による材料発見、リスクの大きい製品開発や実証試験への資金支援等の公的寄与が見られた。
 - ・金属材料研究所でのビスマス系高温超伝導材料発見があった。
 - ・国際超伝導産業技術研究センター(旧超伝導工学研究所)の研究開発(経済産業省/NEDO)では、集中研方式により累計300名程度の企業からの出向者を受け入れ、各社の基礎的、基盤的な技術力の向上に貢献した。
 - ・交流超伝導電力機器基盤技術研究開発(経済産業省/NEDO)では、送電用ケーブル開発において、各種の要素技術開発とともに、モデル試験、実証試験のための民間企業への資金提供による寄与があった。
- 送電用ケーブルの研究開発は応用フェーズに入っているものの、実用化までには、解決すべき課題も多く、また、早期に市場が立ち上がらないことから、実証研究や調達を含む公的支援により、蓄積された高度な技術を維持・強化し、市場創出に結び付けていくべきである。
- 当該技術は、送電用ケーブルとして電力会社等での利用が最も産業的意義が大きいと期待され、さらに超伝導マグネットやモーター等の応用製品や超伝導変圧器等として、工場、鉄道および電力会社等での利用が期待される。これらによる送電やエネルギー利用効率化を通じたコスト削減効果および超伝導ケーブルやマグネット等関連製品の市場創出等による経済インパクトと、省エネ・CO₂削減等による社会的インパクトが大きく期待される。医療用診断機器(MRS)等にも利用され、画像診断等の高度化により健康向上等の国民生活へのインパクトも期待される。なお、インパクトが大きく期待される送電ケーブルの更新は30~50年寿命のもとで行われるので、インパクト実現に長い期間を要することに留意する必要がある。

7

4. まとめ

(参考)指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

①全般的課題

- 超伝導材料の研究が応用フェーズに入っており、国は企業が技術開発を進めるべきとするが、企業側から見ると応用から開発にかけてギャップがあり、企業のみでは継続困難である。応用研究段階に入ると欧米のベンチャー企業の方が機動力があり、エクイティファイナンスで資金調達ができ、有利である。日本の企業では、大企業の中の一部でしか過ぎず、研究資金も小額である。日本ではこのようなリスクの大きい技術開発では、インパクト実現のため、応用段階以降、信頼と実績を得て市場創出まで、NEDO等の国のプロジェクトがこれを補う必要がある。(学識経験者、企業・マネージャー)
- 当該技術の市場への導入をしやすくするために、50Hz/60Hz間での系統連携、IT機器等での利用を考えた直流での送電などの、電力利用の全般的なしくみの見直しや、整備を国が主導して進めるべき。(企業・マネージャー)

②今後の研究開発・支援のあり方についての意見

(プロジェクトの目標設定)

- 超伝導材料による送電線は、近い将来に国内にユーザーがおらず、また、10年間で費やす長期的な研究開発テーマであるが、現在、経済産業省では、1~2年後に実用化をねらう短期的な研究テーマが望まれる。しかし、全ての技術と同じスケールによって評価して、プロジェクトを実施していくのは適切ではない。この超伝導材料のように、実用化に長期間費やすプロジェクトは、別のスケールで判断するようにプロジェクトのターゲットの適正化をはかるべきである。(電力会社研究所・マネージャー)

(参考とすべきプロジェクト実施・運営体制)

- 日本の公的研究開発・支援は、基礎は文部科学省、応用は経済産業省、利用は国土交通省等と、直線的な研究開発段階ごとにばらばらになされている。米国では、これらを垂直多層的に統合したプロジェクトが、DOD、DOE、NIH等で、また同一省庁でも複数、並行して進められている。日本でも、基礎-応用-利用の垂直統合的なプロジェクト(当該分野では、大学・公的研究機関、線材メーカー、冷凍機メーカー、電力会社等の参加した体制)を、必要なら多数並行し、競争的に実施していくことが望ましい。(企業・マネージャー)
- 予算の目的外使用ができないため、貴重な装置の有効活用が遮断された。柔軟なプロジェクト運営体制が望まれる。(学識経験者)
- 公募選定プロセスで、大企業の国プロを担当している部署がきれいな企画書を書いてしまうと、他の企業が受注できず、プレゼンテーション能力が高い企業に資金が行くことになってしまう問題がある。(学識経験者)
- 日本の国のプロジェクトは間接費が認められず、これが認められる米国よりも厳しい。また、結果として成功する形が求められるが、本来成功率が低い国への支援の意義がある。国のプロジェクトは、米国のようにチャレンジを認める余地を多くすべき。(企業・マネージャー)

8

3-9 水素吸蔵合金(エネルギー)

(1) 事例分析に当たって

① 対象とした技術の概要

本事例分析では、当該技術を以下のように捉え、調査・分析の対象とした。

- 水素吸蔵の方法には、水素を液体水素/圧縮水素の状態で蓄える方法と、固体等の材料に吸着、化合させて蓄える方法がある。
- 液体水素/圧縮水素による貯蔵については、安全面の問題があることから、固体等に水素を吸蔵する技術に期待が集まっている。
- ここでは、水素吸蔵技術のうち、特に水素吸蔵合金に注目した。

② 調査方法および対象

本事例調査では、当該技術に関する有識者等へのヒアリング調査を主とし、さらに文献調査・統計データ分析を実施した。

ヒアリング調査の対象を以下に示す。

- 学識経験者(東北大学大学院教授、東北大学助教授)2名
- 公的研究機関(水素エネルギー協会役員、産業技術総合研究所研究者)2名
- 企業(総合素材メーカー研究者)1名

(2) 技術動向

合金による水素吸蔵は1968年に報告された。その後、1973年の第一次石油危機を背景に水素貯蔵材料として注目され、1980年ごろから世界的に研究が本格化した。1990年には、水素吸蔵合金を用いて、モバイル等電子機器の普及に大きな影響を与えたニッケル水素電池が実用化されている。

水素貯蔵合金の主な問題点は重量が大きいことであり、水素吸蔵量の増加に向けた研究開発が進められている。その結果、当初1.5wt%程度であった水素吸蔵量は、NEDOのプロジェクト「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)」において、V-Ti-Cr-Mn合金を用いて世界最高レベルの有効水素吸蔵量2.6wt%にまで向上した。

また、同年代中頃からは、有機系水素化物が注目されるようになった。有機系水素化物の主な問題点は水素取り出し温度にあるが、現在は、触媒技術等によって250℃程度での取り出しが可能になっている。1990年代末には、炭素系材料であるカーボンナノチューブやナノ構造化グラファイト等が数wt%から数十wt%の水素を吸蔵するという報告がなされ注目を集めたが、ナノチューブについては、現象の再現性が悪く、今のところ評価はやや消極的である。同じ頃から、アラネート等の錯体系水素化物が注目を集めるようになってきた。アラネートの場合で、200℃弱で水素吸蔵量5.5wt%が報告されている。

水素吸蔵材料開発の中心的課題は、有効水素吸蔵量と動作(水素吸蔵/放出)温度、そして、吸蔵/放出のサイクル数である。現在のところ、温度については常温付近、サイクル数については5,000回程度が世界的な目標になっている。有効水素吸蔵量については、自動車に積んだ場合の航続距離を500km以上とすることが一つの目安となっており、この要請からWE-NET(II期)が5.5wt%以上を掲げ、米国エネルギー省は、2005年までに4.5wt%、2010年までに6wt%、2015までに9wt%とする目標を掲げている。

どのような材料が、これらの目標を達成するかはまだ予測できない。研究開発は、触媒技術等により既存材料の改良を行う方法と、新規の材料を探索する方法とが主に行われており、3年ないし5年内に何らかのブレイクスルーが起こるのではないかとされている。

(3) 公的研究開発・支援の位置付け

日本の水素吸蔵合金研究開発が世界のトップレベルを達成したことについては、NEDOの寄与(WE-NET)が非常に大きい。もし、公的研究開発・支援がなければ、我が国のレベルは10年前の状態に留まっていたと思われる。

本技術には、自動車メーカー等をはじめとして、民間メーカーが大きな期待を寄せている。しかし、物質探索

等の研究開発は、投資額が大きくリスクも高いため民間では行えないことから、公的研究開発・支援が期待されている。

水素吸蔵・貯蔵技術に対する主要な公的研究開発・支援を以下に示す。

(大学や公的研究機関における基礎研究の継続・蓄積)

- 1998年度から2002年度の期間に実施された、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「サブナノ格子物質におけるプロチウム新機能」においては、目標の一つに現用水素吸蔵合金(希土類系ミッシュメタル)の2倍の容量を持つ合金の開発を置いて規軽量合金の探索が行われ、目標を達成するとともにさらなる研究開発を行った。また、水素の吸蔵の仕組みや物性等の基礎面において、数々の新しい知見を得た。

(産学官連携によるナショナルプロジェクト)

- 1993年度から2002年度の期間に実施された、NEDOの「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)」プロジェクトでは、第I期(1993～1998)のサブタスク5および第II期(1999～2002)のタスク11において水素貯蔵技術および材料の研究開発が進められ、合金系、カーボン系、錯体系等の新規水素貯蔵材料の探索と開発により、技術の進展に大きく寄与した。
- 2003年度から2007年度の期間で実施されている、「水素安全利用等基盤技術開発」は、WE-NETの後継プロジェクトと位置付けられるもので、大容量の新規水素化物の探索等の研究開発に期待が寄せられている。

なお、1990年以前にも、70年代にサンシャインプロジェクトの一環として水素吸蔵合金研究が行われ、以来、途切れることなく何らかの公的研究・支援が本分野に対して行われている。このことが、我が国が本分野で世界最高のレベルを獲得・維持することに大きく貢献している。

インパクトアンケート調査結果によると、当該技術に対する公的研究開発・支援の寄与度合いが「大」もしくは「中」と回答した割合は70%(エネルギー分野・未実現の平均は55%)と高く、同じく、今後の公的研究開発・支援の必要性が「大」もしくは「中」と解答した割合も81%(同61%)と高い。

(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

当該技術は、水素エネルギー関連企業による水素の供給、水素利用機器の製造、社会におけるエネルギー消費スタイルの変化、および国民生活における水素利用の拡大を通じて、以下のインパクトを実現すると考えられる。また、水素吸蔵材料は、その基礎的な特性から、水素精製、ヒートポンプ、アクチュエータ等さまざまな用途に応用可能である。

○ 経済的インパクト

- 水素供給ビジネスの創出(2020年に400億 m^3 /年、3兆円規模)。
- 分散型エネルギー供給ビジネスの創出。
- 水素自動車産業創出。
- 水素エネルギー機器産業創出。

○ 社会的インパクト

- CO₂排出削減による温暖化防止。
- エネルギー安全保障。
 - － 燃料電池技術とあいまって、「貯蔵・運搬可能な電力」を実現
 - － 二次エネルギー(エネルギーの媒体)として自然エネルギーの利用拡大をもたらす
- 燃料電池自動車普及(2020年に500万台、2030年に1,500万台)。
- 定置型燃料電池普及(2020年に1,000万kW、2030年に1,250万kW)。
- 大型発電所の削減(1,250万kW⇔原子力発電所10基分)。

○ 国民生活へのインパクト

- 安全性の高い燃料の供給。
- 大気汚染のない生活。
- エンジン騒音・振動のない生活。

- 高度な福祉機器等の利用(家庭用ロボット、コンパクトな電動車椅子など)。
- 高効率ヒートポンプ利用。

インパクトアンケート調査結果によると、現時点でのインパクトが「大」もしくは「中」と回答した割合が、経済的インパクトおよび社会的インパクトについて、それぞれ72%と高かった。国民生活へのインパクトは、同じく56%であった。ヒアリング調査でも同様の期待の高さをうかがうことができた。

(5) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見(参考)

① 現状と課題

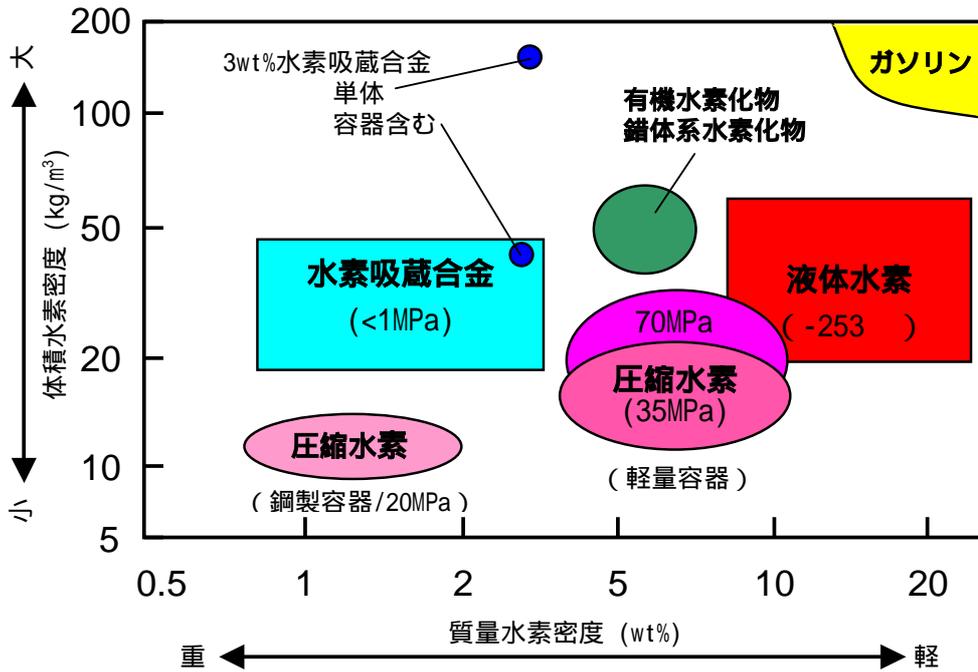
- 5年以内にブレイクスルーが起こる可能性がある。ただし、そのためには、人材と投資の集中が必要である。(学識経験者)
- 自動車用の水素貯蔵については、そう遠くない将来に、現状を打破する技術が出現するのではないか。(公的研究機関・研究者)
- 我が国の研究はトップレベルにあるが、本分野は世界的に競争が苛烈な分野であり、手を緩めればその地位は外国に容易に覆されてしまうだろう。(学識経験者)
- 各国が競って技術開発を行っている中、日本が技術開発を行って、スタンダードを作らなければならない。(企業・研究者,公的研究機関・役員)
- 水素貯蔵の要素技術開発をしっかりと進める必要があるが、民間企業では、その巨額の費用とリスクに耐えられない。(公的研究機関・役員、企業・研究者)
- 新規材料探索をはじめとして、新しい分野に挑んでゆくベンチャー・リサーチをいかに支援して行くかということが課題である。(学識経験者)

② 今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

- 燃料電池自動車は水素エネルギー社会の入り口に過ぎない。将来の水素エネルギー社会を視野に 100年の計を立てるべきである。(公的研究機関・役員)
- 研究開発計画を立てる段階では、より広い知見を集めるため、学識経験者の他、実務に精通した人間を参画させる必要がある。これにより、実態に即したタイムリーな提案が提出される。評価の段階もまた同じである。アメリカでは、そのような運営で成果を上げている。(公的研究機関・役員)
- 公的研究開発・支援は分散させず、集中した方がよい。そのためには、研究者・グループを評価して選択する必要がある。そのためには、公正な第三者の評価が必要であり、ピアレビューには限界がある。(学識経験者)
- 年度等で機械的にプロジェクトが断絶してしまうのでは、折角開発した技術が死んでしまう。研究開発後のフォローアップを行うべきである。このフォローアップを民間で行うのは無理であり、公的な研究・開発によるべきである。(公的研究機関・役員)
- 大規模なプロジェクトでは、100%補助でなければ民間企業の参加は難しい。50%補助でも自己負担部分はなお巨額であって、民間企業ではリスクをとって負担することは不可能である。(企業・研究者)
- 文部科学省は学術研究でも支援するので、当該分野で実績を積んだ者以外にも様々な研究者が集まり、「水素文化」が育つ利点があり、実績重視の傾向がある NEDO とはまた別の形での寄与ができる。(学識経験者)
- 材料技術においては、基礎研究と応用研究の連携が重要である。文部科学省プロジェクトと、NEDO のプロジェクトが連携して車の両輪のように研究開発を支援する仕組みが欲しい。(学識経験者)
- 物質探索にあっては、アウトプットの保証がなくとも、投資を行うべきである。(学識経験者)
- 大学の研究室と自動車メーカーとが連携してプロジェクトに取り組んでいる例があるが、非常に有用である。大学と企業の研究室との連携を図るため、NEDO や文部科学省が仲介してパイプを広げることも必要ではないか。(学識経験者)

1. 技術動向

(1) 各種水素貯蔵技術の質量水素密度と体積水素密度の比較



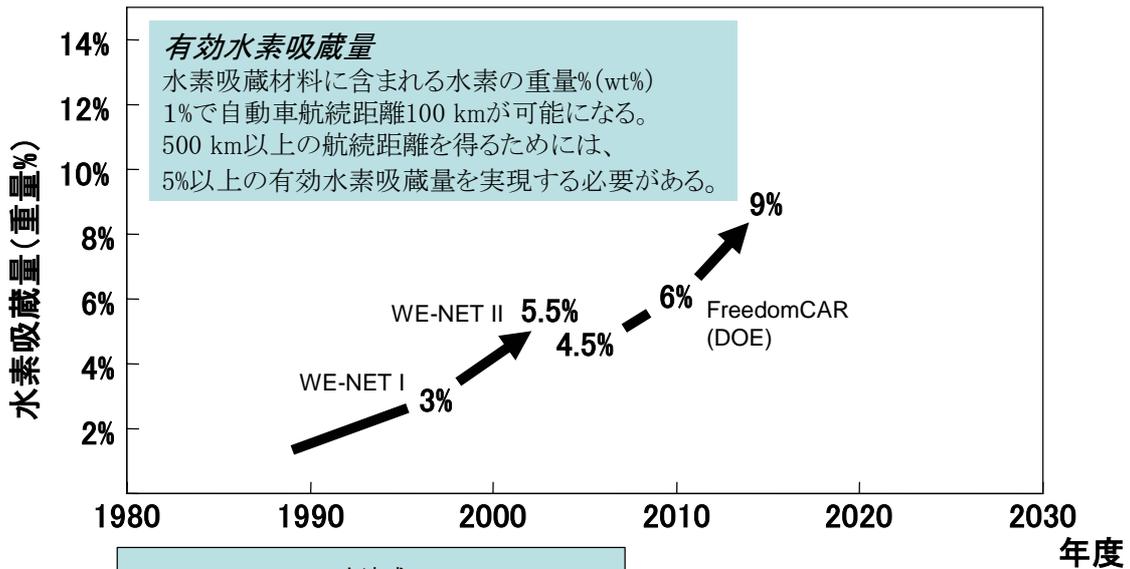
(出所) 栗山信宏(2003)〔水素利用技術集成〕よりMRI作成

1

1. 技術動向

(2) 有効水素吸蔵量の目標値/推移

目標値



WE-NET IIで2.6wt%を達成
60°Cで作動する水素吸蔵合金としては世界最高レベル。
この成果を受けて、WE-NET II期間中に目標値は5.5%に引き上げられた。

日本の目標値(5.5wt%)は、動作温度、耐用サイクル数等まで考慮した上での目標値。
DOEの目標値(9wt%)は、錯体系を念頭においての目標値らしいとの観測がある。

2

1. 技術動向

(3) 水素吸蔵物質の分類と状況

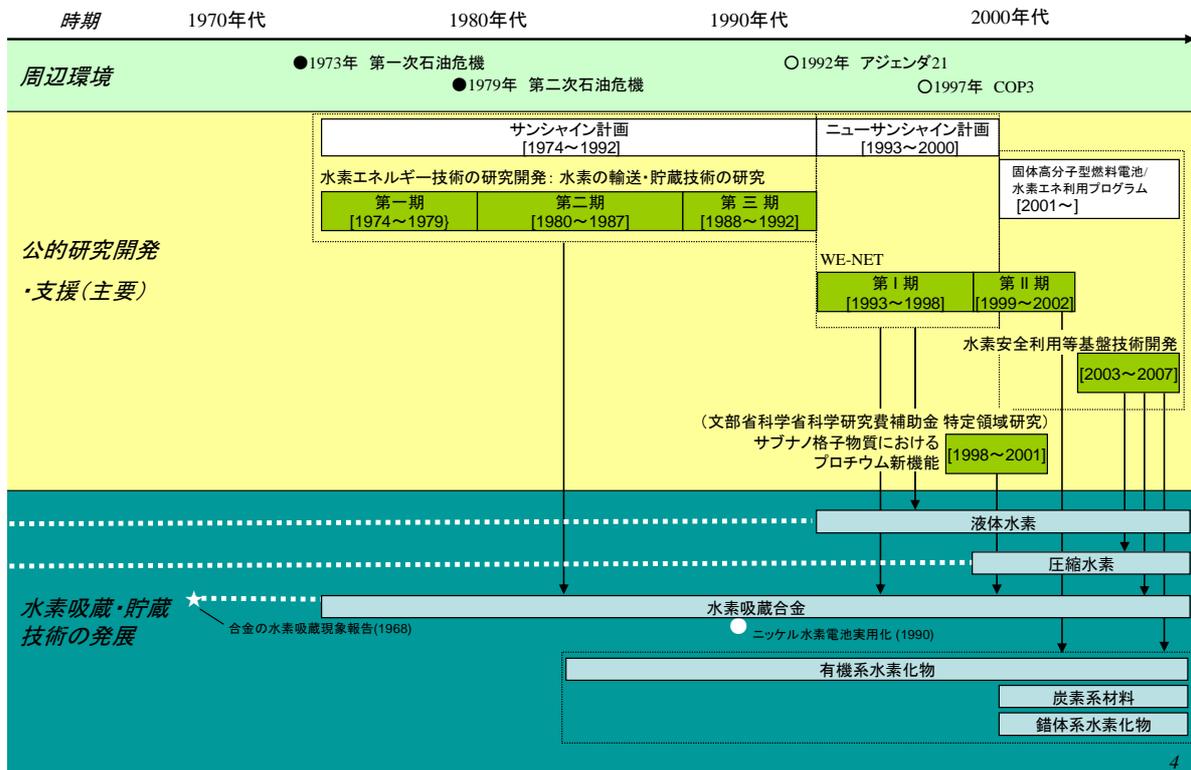
燃料電池車への搭載を考えると、実用化が最も近いのは高圧ガスボンベである。高圧ガスボンベについては米国が技術開発において先行している。日本は水素吸蔵合金については、世界でトップの地位である。

抽出技術	説明	例
水素吸蔵合金	<ul style="list-style-type: none"> 合金結晶の原子間空隙に水素原子を拡散させ、金属水素化物として水素を蓄える方法。 水素をコンパクトに貯蔵できるが、重量が大きくなる点が主な問題。 ニッケル水素電池負極材として不可欠。 	<ul style="list-style-type: none"> LaNi₅、Ti_{1.2}Mn_{1.8}、Mg₂Ni等。 (Mg₂Ni: 3.6wt% @ 253°C)
炭素系材料	<ul style="list-style-type: none"> カーボンナノ材料に水素を蓄える方法。 ナノチューブは再現性に疑問がある。 ナノ構造化グラファイトは、吸蔵/放出のサイクル数が少ないことが主な問題点。 	<ul style="list-style-type: none"> カーボンナノチューブ、カーボンナノファイバー ナノ構造化グラファイト (7wt% @ ca. 300°C)
有機水素化物	<ul style="list-style-type: none"> ベンゼン+H₂ ↔ シクロヘキサンなどの化学反応を利用して、有機化合物中に水素を蓄える方法。 水素放出温度が高い点が主な問題。 	<ul style="list-style-type: none"> シクロヘキサン/ベンゼン系、メチルシクロヘキサン/トルエン、デカリン/ナフタレン系 (デカリン: 7.3wt% @ ca. 200°C)
錯体系水素化物	<ul style="list-style-type: none"> 無機水素化物を吸蔵に利用するもの。 比較的新しい方法のため、適した反応条件等に不明の点が多い。 	アラネート $\text{NaAlH}_4 \rightarrow 1/3\text{Na}_3\text{AlH}_6 + 2/3\text{Al} + \text{H}_2$ (論理収蔵量 5.5wt%) ボロハイドライド $\text{NaBH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaBO}_2 + 4\text{H}_2$ (論理収蔵量 10.8wt%)

3

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(1) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け



4

2. 公的研究開発・支援の位置付け

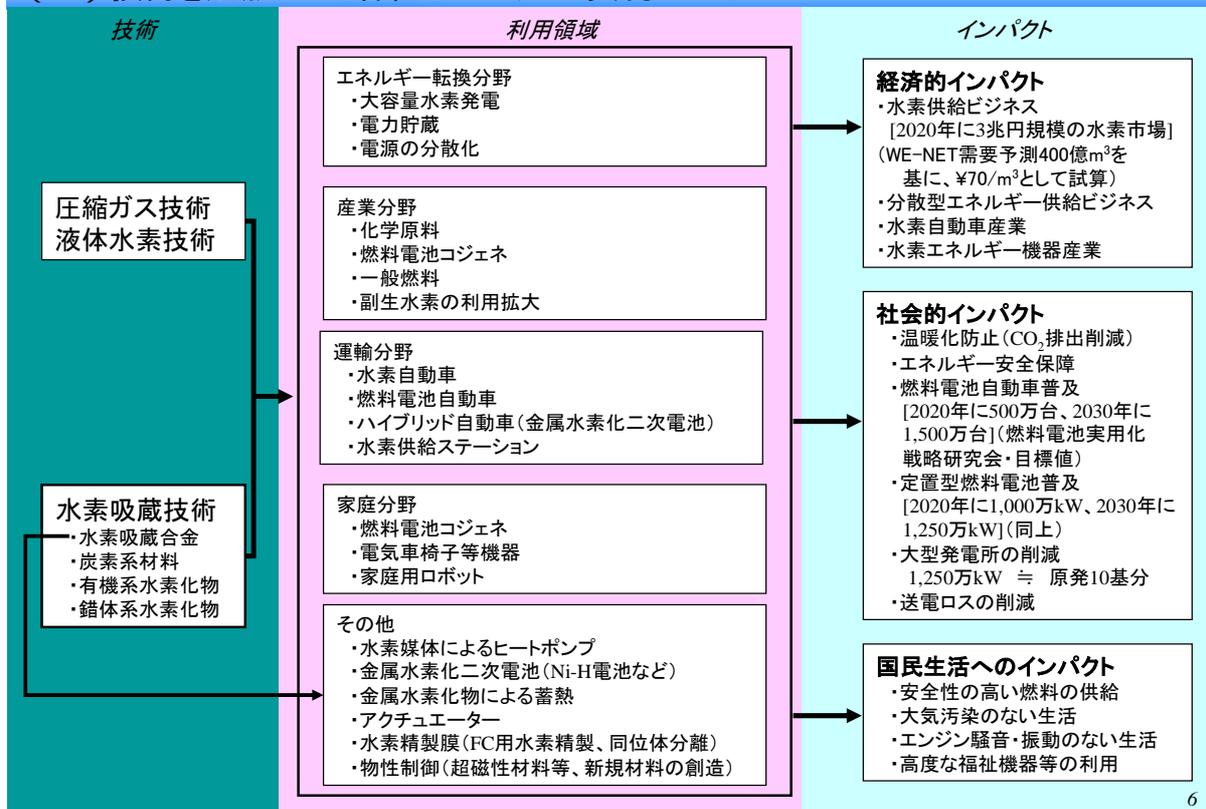
(2) 技術開発への公的研究開発・支援の寄与内容等

公的研究開発・支援	寄与の対象	寄与の形態・内容等(主要例)
サンシャイン計画 [1974~1992] (水素全体で年数億円程度)	水素の輸送・貯蔵技術の研究 ・金属水素化物による水素輸送技術 ・金属水素化物による水素貯蔵技術	基礎研究の段階 ・材料探索において、Mg系合金からMg/Ni系合金への進展に寄与。 ・同じく、Tiまたは希土類ベースの二元系合金からTi-Co、Mm-Ni系の三元合金への進展に寄与。
ニューサンシャイン計画 [1993~2000] (I期全体で約100億円、合金開発には年約2億円を投入) (II期全体で約86億円、タスク11には約9億円(年約2億円)を投入)	WE-NET 第I期 [1993~1998] サブタスク5: 水素輸送・貯蔵技術 ・新規吸蔵材料探索 ・動作温度等、使用条件の改善	基礎研究~実用化に向けての段階 ・LaMg ₂ Cu ₂ 合金が、可逆的な水素吸蔵放出特性を有することの発見に寄与。
	WE-NET 第II期 [1999~2002] タスク11: 水素貯蔵材料の開発	基礎研究~実用化に向けての段階 ・世界最高の有効水素吸蔵量2.6wt%を持つV-Ti-Co-Mn系合金の開発に寄与。
固体高分子型燃料電池/水素エネルギープログラム [2000~]	水素安全利用等基盤技術開発 [2003~2007] ・水素の安全性に係るデータの取得に基づく安全技術の確立、水素の製造・輸送・貯蔵・充填等に係る技術の開発。	基礎研究~実用化に向けての段階 ・70 MPa級の高圧水素供給技術の開発に寄与。 ・高容量水素吸蔵合金と貯蔵タンクの研究に寄与。 ・有機系、無機系、炭素系の水素吸蔵材料の研究に寄与。
文部科学省科学研究費補助金 特定領域研究 (約9億円)	サブナノ格子物質におけるプロテウム新機能 [1998~2001] ・従来の約2倍の水素吸蔵能力を持つ合金の開発(ただし、当初目標が達成されたために、途中で目標を上方修正)。	基礎研究の段階 ・2.6wt% @40°Cの吸蔵量を有するBCC構造を持つV-Ti-Cr系合金の発見に寄与。 ・7.4wt%の吸蔵量を有するナノ構造化グラファイトの発見に寄与。 ・水素と金属の物性について多くの知見獲得に寄与。

5

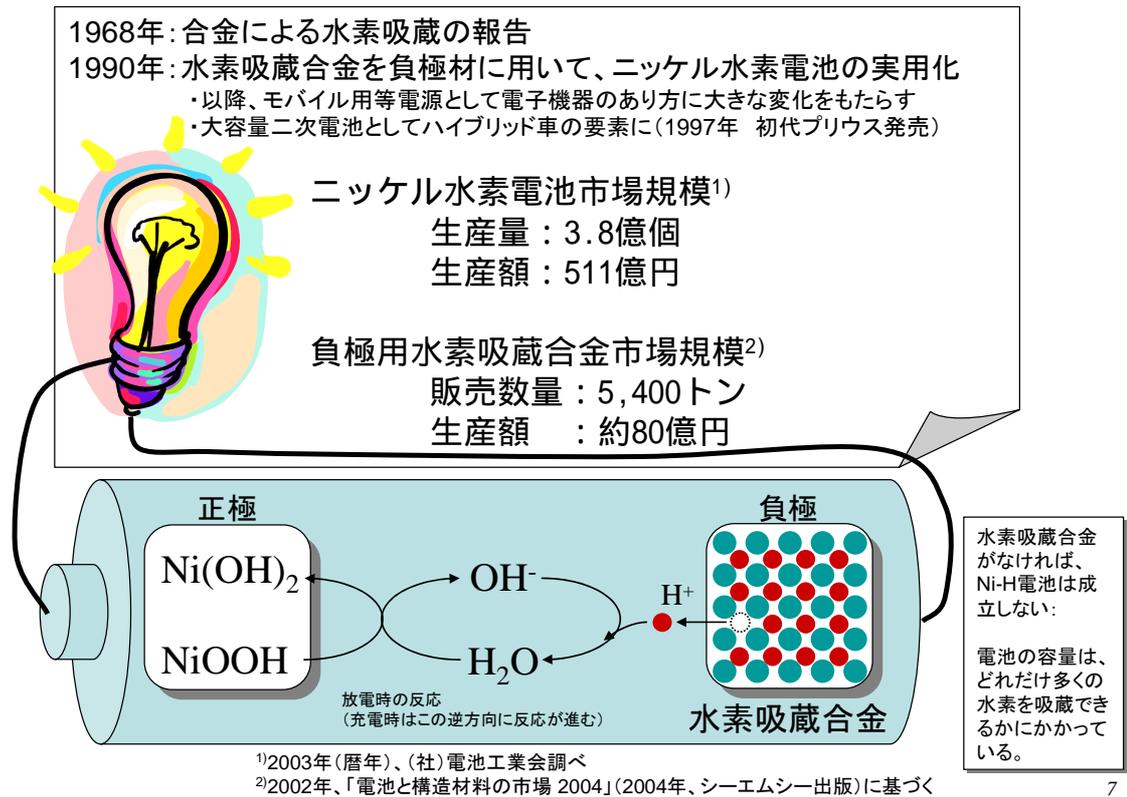
3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

(1) 技術を起点とした各種インパクトと実現プロセス



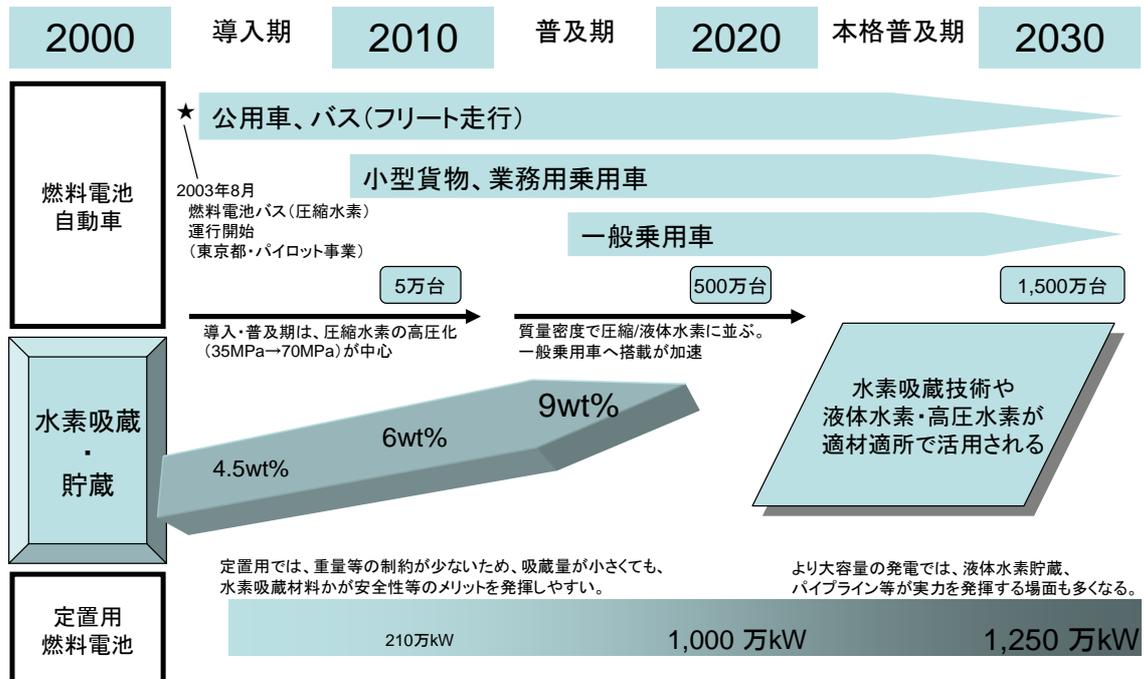
6

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト
 (2) 水素吸蔵合金に関連して既に実現しているインパクト



7

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト
 (3) 水素吸蔵・貯蔵技術の利用とインパクト実現プロセス



・有効水素吸蔵量は、U.S.DOEの目標値を参考にしたもの
 ・燃料電池自動車の台数および定置用燃料電池の普及規模は、燃料電池実用化戦略研究会による目標値

8

4.まとめ

- 我が国の研究は現在トップレベルにあるが、世界的な競争にある本分野では、先行したものが水素エネルギー社会のデファクトスタンダードを握る。したがってさらなる研究・開発促進製作が求められている。このとき、民間における要素技術開発支援を強化するとともに、大学等における基礎研究と企業等における応用研究との連携を密にする必要がある。
- 水素吸蔵・貯蔵技術としては、高圧ガスボンベ、水素吸蔵合金、有機系水素化物、炭素系材料などがある。
- 燃料電池車への搭載を考えると、実用化が最も近いのは高圧ガスボンベである。高圧ガスボンベについては米国が技術開発において先行している。日本は水素吸蔵合金については、世界でトップの地位にある。
- 水素吸蔵合金については、1970年代から現在まで、継続的に公的研究開発・支援が行われて来た。特にWE-NETでは高い研究開発目標が設定され、それを目標に開発を行うことで世界トップの地位を得るに到った。もし、公的研究開発・支援がなければ、わが国のレベルは10年前の状態に留まっていたと思われる。
- 本技術には、自動車メーカー等をはじめとして、民間メーカーが大きな期待を寄せているが、物質探索等の研究開発は、投資額が大きくりスクも高いため、民間では行えない。公的研究開発・支援が不可欠である。
- 水素吸蔵・貯蔵技術は、水素エネルギー社会の実現を通じて、経済・社会（エネルギー安全保障、CO₂排出削減等）・国民生活（良好な環境の享受等）に極めて大きなインパクトをもたらす。また、水素吸蔵材料は、その基礎的な特性から、水素精製、ヒートポンプ、アクチュエータ等さまざまな用途に応用可能である。
- 吸蔵材料の技術にも液体水素/圧縮ガスの技術にも、それぞれの特質があり、適材適所の形で、あるいは、両技術を併用したハイブリッドの形で、それぞれの特質を活かして、経済・社会、国民生活へインパクトを与える。

9

4.まとめ

(参考) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

現状と課題

5年以内にブレークスルーが起こる可能性がある。ただし、そのためには、人材と投資の集中が必要である。(学識経験者)

自動車用の水素貯蔵については、そう遠くない将来に、現状を打破する技術が出現するのではないかと。(公的研究機関・研究者)

我が国の研究はトップレベルにあるが、本分野は世界的に競争が苛烈な分野であり、手を緩めればその地位は外国に容易に覆されてしまうだろう。(学識経験者)

水素貯蔵の要素技術開発をしっかりと進める必要があるが、民間企業では、その巨額の費用とリスクに耐えられない。(公的研究機関・役員、企業・研究者。)

今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

研究開発計画を立てる段階では、より広い知見を集めるため、学識経験者の他、実務に精通した者を参画させる必要がある。これにより、実態に即したタイムリーな提案が提出される。評価の段階もまた同じである。アメリカでは、そのような運営で成果を上げている。(公的研究機関・役員)

公的研究開発・支援は分散させず、集中した方がよい。そのためには、研究者・グループを評価して選択する必要がある。そのためには、公正な第三者の評価が必要であり、ピアレビューには限界がある。(学識経験者)

材料技術においては、基礎研究と応用研究との連携が重要である。文部科学省のプロジェクトと、NEDOのプロジェクトとが連携して、車の両輪のように研究開発を支援する仕組みが欲しい。(学識経験者、他の学識経験者)

物質探索にあっては、アウトプットの保証がなくとも、投資を行うべきである。(学識経験者)

大学の研究室と自動車メーカーとが連携してプロジェクトに取り組んでいる例があるが、非常に有用である。大学と企業の研究室との連携を図るため、NEDOや文部科学省が仲介してパイプを広げることも必要ではないか。(学識経験者)

10

3-10 燃料電池自動車(エネルギー)

(1) 事例分析に当たって

① 対象とした技術の概要

本事例分析では、当該技術を以下のように捉え、調査・分析の対象とした。

- 燃料電池を動力源として走行する、システムとしての燃料電池自動車。
- 特に燃料電池と水素貯蔵技術に注目する。(水素製造技術や水素供給インフラについては主たる調査対象としない。)

② 調査方法および対象

本事例調査では、当該技術に関する有識者等へのヒアリング調査を主とし、さらに文献調査・統計データ分析を実施した。

ヒアリング調査の対象を以下に示す。

- 公的研究機関(NEDO 燃料電池・水素技術開発部)1名
- 関係機関(燃料電池開発情報センター)1名
- 企業(自動車メーカー)2名

(2) 技術動向

燃料電池自動車とは、燃料電池で発電を行い、その電気エネルギーを使ってモーターを駆動させて走る自動車のことである。パワーコントロールユニットやラジエター、コンプレッサー、インバータ、モーターなどから構成され、水素貯蔵システムと燃料電池が基幹技術である。燃料電池自動車は以下のメリットを持っている。

- エミッション: 走行時は水蒸気と熱のみ発生し、CO₂・NO_x・HC・CO・PM 等は排出しない
- エネルギー効率: ガソリン内燃機関自動車と比較して2倍程度のエネルギー効率(30%以上)
- 燃料セキュリティ: 天然ガスや再生可能エネルギーなどの石油以外の燃料が利用可能
- 静粛性: 内燃機関のような機械的運動や燃焼がなく騒音が非常に少ない

燃料電池は、1939年にウィリアム・ロベルト・グローブ卿により発明された。燃料電池の種類には、リン酸形や固体酸化物形、熔融炭酸塩形などが存在する。自動車用の燃料電池には、小型性、軽量性、起動の応答性が求められることから、動作温度が低く小型化しても出力が落ちない固体高分子形燃料電池の開発が進められている。

水素の貯蔵方法としては、高圧タンク・水素吸蔵合金・液体水素などが考えられている。現状では、航続距離500km以上という要求水準を満たすには、いずれの技術も水素貯蔵密度もしくは重量に問題点があり、ブレイクスルーが必須である。水素の補給方法はガソリンやメタノール改質ではなく純水素が主流になると見られている。水素製造方法については決め手となる技術がないのが現状である。周辺技術としては、インバータ、ラジエター、パワーコントロールユニット、モーターなどが存在する。

(3) 公的研究開発・支援の位置付け

燃料電池自動車に関わる研究開発は、かなりの部分について自動車メーカーが独自で行っている。

公的研究開発・支援によりいくつかの有用な要素技術は開発されているが、公的なプロジェクトに自動車メーカーは参加しておらず、それらの技術が直接的には利用されていない。しかし、人材面等での間接的な寄与は存在したと見られる。大学等からの自動車メーカーへの直接的な寄与はあまりないが、部品等のサプライヤーへの寄与は大きかったと考えられる。燃料電池自動車に関する公的研究開発・支援について以下に示す。

(実証試験)

- 燃料電池の開発は2000年から開始されたミレニアムプロジェクトにおいて行われている。また、同じく2000年からは燃料電池自動車の実証試験がJFHCプロジェクトとして、自動車メーカーなども参加して始まっている。

(評価試験・安全性評価の実施)

- 水素貯蔵技術の研究開発はニューサンシャイン計画の一部である WE-NET 計画によって 1999 年頃から一部行われた。その他水素インフラや安全対策技術の開発は NEDO の補助の元に研究開発が進められている。

技術面では、航続距離とコストが最大の問題であり、課題解決に繋がる技術はまだ確定していないため、今後は広範な基礎研究が必要であるとの意見があった。燃料電池に関する技術は、日本では研究開発が始まったばかりで、公的研究機関や大学にあまり根付いていない。研究の裾野を広げること、および実用化に繋げるための研究開発マネジメントが不可欠である。

インパクトアンケートの結果によると、公的寄与が「大」もしくは「中」との回答が 70%弱とエネルギー分野の中では大きく、内容では、民間への資金提供への寄与が大きい。ヒアリング調査においては、燃料電池に関しては、自動車メーカーへの寄与はほとんどないとのことであったため、水素貯蔵・製造やインフラに対する寄与についてアンケートでは答えているものと思われる。

(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

当該技術は、自動車メーカーおよび水素製造・供給企業の活動を通じて、以下のインパクトを実現すると見られている。しかし、燃料電池自動車は、「製造コストが下がらなければ導入量が増えないが導入量が増えなければコストは低下しない」というジレンマと、「水素インフラが整わなければ導入量は増えないが導入量が増えなければ水素インフラが整わない」というジレンマの2重のジレンマに陥っている。本格的な普及を実現するには、技術的な課題の解決を果たすと共に、温暖化問題への本格的対応およびエネルギー源多様化への本格的な対応という社会環境の大きな変化が必須である。

○ 経済的インパクト

- 燃料電池自動車の市場創出。
 - － 2005～2010 年の導入段階で5万台、2020 年に 500 万台の導入シナリオ&目標
- 水素インフラの新規整備。
- 新燃料の利用の促進(バイオマス等)による産業の創出。

○ 社会的インパクト

- 二酸化炭素削減効果。
 - － ガソリン自動車の4割の CO₂ 排出、2010 年に5万台普及すると約6万 t-CO₂ の削減効果があるとの試算
- 大気汚染物質(NO_x、HC、CO、PM 等)削減。
- 燃料の多様化による国の燃料セキュリティの向上。
- エネルギー総合効率(Well to Wheel)の向上。
 - － 燃料電池自動車はガソリン車と比べ車両効率3倍、総合効率2倍となる
- 道路の騒音問題の低減。

○ 国民生活へのインパクト

- 住環境の改善(大気汚染、騒音の改善)。
- 車の快適性の向上(静粛性、空間性の向上、デザインの多様化)。
- 環境意識向上。

インパクトアンケート調査では、経済、社会、国民生活ともに 80%以上と非常に大きいインパクトがあるとの回答結果となっている。ヒアリングにおいても普及が実現すれば、アンケート結果のような大きなインパクトがあると考えられていることがわかっている。

(5) 指摘された課題と今後の公的研究開発・支援のあり方に関する意見(参考)

① 技術的課題

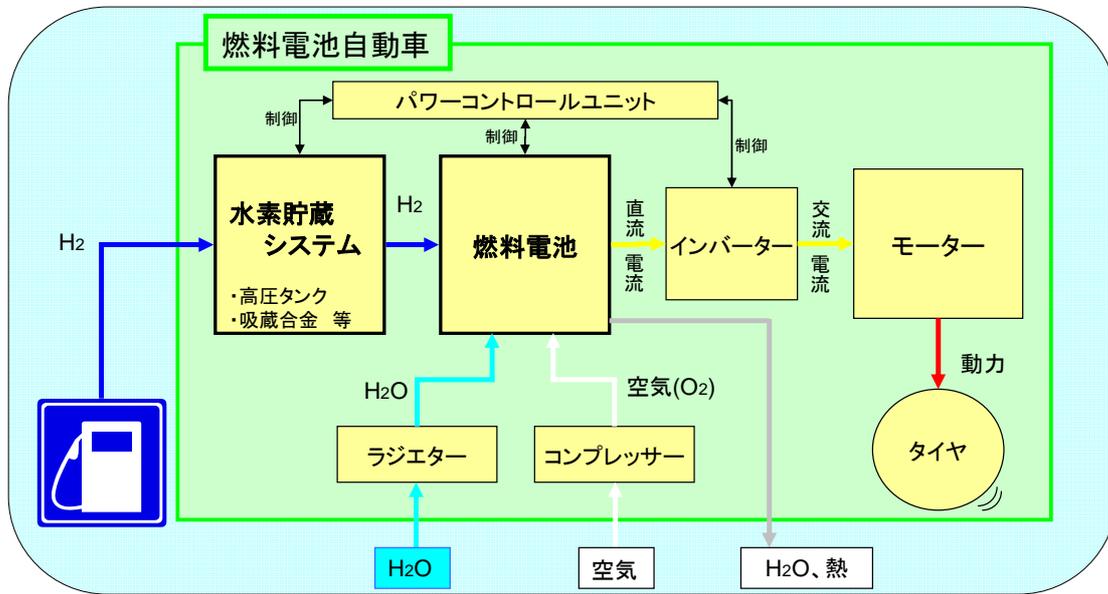
- 航続距離を伸ばすことと、コストを削減することが最大の課題である。現状では、ブレイクスルーを起こす技術は見つかっていない。(企業・マネージャー)
- 要素技術としては、燃料電池の低温作動性向上や耐久性向上、白金触媒の使用量の低減、循環水の管理など多くの課題が存在する。(企業・マネージャー、関係機関・理事、関係機関・研究者)

- 水素を何で作るか、どうやって供給するかも考えなければならない問題である。爆発性のある水素をどうやって安全に扱うかは難しい問題である。(企業・マネージャー、公的研究機関・理事、関係機関・研究者)
- 燃料電池自動車はまだまだ多くの技術開発が必要であり、早急な普及は難しい。いくつかの技術的ブレークスルーとエネルギー問題、環境問題への社会的機運の高まりとが達成されたときに、本格的な普及が始まると考えている。(企業・マネージャー、公的研究機関・理事)
- ② 公的寄与に関する課題
- 燃料電池はもともと宇宙や防衛的な側面が大きく、日本の研究開発は遅れていた。固体高分子形の燃料電池の開発をメーカーは 10 年間実施してきているが、国の取り組みは3年程度なため、国内に技術の蓄積がないのが現状である。燃料電池と水素貯蔵に関する主に材料の基礎研究について重点的に進め、要素技術の蓄積をしていって欲しい。(企業・マネージャー、関係機関・理事)
- NEDO からの委託研究は技術の裾野を広げるのに非常に役立っている。技術を広める活動をしているのが非常にありがたい。文部科学省も研究成果を対外的にアピールすることをして欲しい。(企業・マネージャー)
- 大学の研究者は、レベルは高いのだが、実用化のニーズ(企業ニーズ)に適合していない研究をしている印象がある。(企業・マネージャー)
- これまでの日本の公的研究開発・支援は同様の研究課題を複数の場所で行うことをあまり容認していなかった。しかし、複数の場所で同一のテーマを研究するという分散競争型の支援も考えて欲しい。(公的研究機関・研究者)
- 基礎研究は文部科学省で実用化は NEDO という風に担当が分かれているのが研究者の風通しを悪くしている。日本として技術を蓄積していくために、知恵を集中させて、有用な基礎研究を行って欲しい。(公的研究機関・研究者、企業・マネージャー)

1. 技術動向

(1) 燃料電池自動車の概要

- 燃料電池自動車とは、燃料電池で発電をし、その電気エネルギーを使ってモーターを駆動させて走る自動車のことである。下図のような構造となっており、水素貯蔵システムと燃料電池が基幹技術である。
- 燃料電池自動車は以下のメリットを持っている
 - エミッション: 走行時に発生するのは水蒸気と熱のみで、CO₂、NO_x、HC、CO、PM 等は排出されない
 - エネルギー効率: ガソリン内燃機関自動車と比較して2倍程度のエネルギー効率(30%以上)を実現
 - 燃料セキュリティー: 天然ガスやメタノール、再生可能エネルギーなどの石油以外の燃料が利用可能である
 - 静粛性: 内燃機関のような機械的運動や燃焼がなく騒音が非常に少ない



1

1. 技術動向

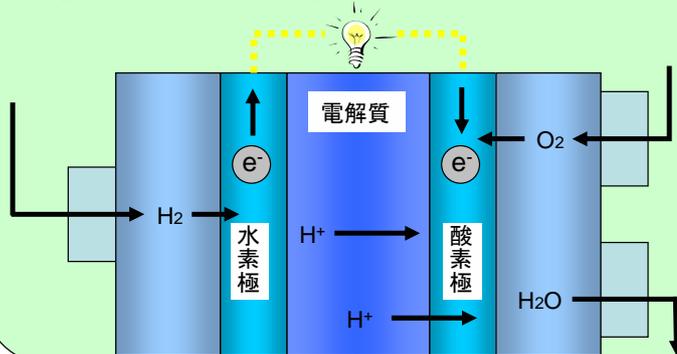
(2) 燃料電池の概要

① 燃料電池の種類

■ 自動車用には、小型性、軽量性、起動の応答性が求められる。固体高分子形の燃料電池は、動作温度が低く小型化しても出力が落ちないため、自動車用燃料電池として開発が進められている。

	固体高分子形 (PEFC)	アルカリ形 (AFC)	リン酸形 (PAFC)	溶融炭酸塩形 (MCFC)	固体酸化物形 (SOFC)
電解質	高分子膜	KOH/H ₂ O	H ₃ PO ₄	Li ₂ CO ₃ /K ₂ CO ₃	セラミックス
動作温度	80℃	60~80℃	200℃	650℃	800~1000℃
燃料	H ₂ /改質ガス	H ₂	H ₂ /改質ガス	H ₂ /CO	H ₂ /CO
発電効率 (HHV)	32~40%	50~60%	36~45%	45~55%	45~50%
用途	自動車、ポータブル電源	宇宙	分散電源、コージェネ	電力事業	分散電源、コージェネ

② 固体高分子形燃料電池の仕組み



- 外部から供給された水素は水素極で電極反応により、水素イオンと電子に分かれる。電子は外部回路を経て酸素極に到り、電流を生じる。水素イオンは電解質を移動し、酸素極に達し、酸素と結合して水を生成する。電極用触媒としては主に白金が用いられる。
 - 水素極の反応: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$
 - 酸素極の反応: $1/2 O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$

■ 左図のように、PEFCは電極で電解質をはさむ構造となっている。この一対をセルと呼び、PEFCの基本単位となっている。単一セルの出力は1V弱であり、自動車用の70~100Vの電圧を得るためには、セルを数百枚直列に繋いだスタックを形成する必要がある。

2

1. 技術動向

(3) 燃料について

① 水素の貯蔵(車載)システム: 現在は各企業とも高圧水素タンクを採用しているが、実用化(航続距離500km以上)を想定した場合どの技術もブレークスルーが必要である。

	概要	課題
高圧水素タンク	水素を高圧(現状350気圧)にして専用の高圧タンクに充填したもの。タンクは軽量化のため、カーボンと金属の組み合わせが主流である。	350気圧では、航続距離が300~350kmと短く、航続距離を伸ばそうとすると車内の空間を圧迫してしまう。700気圧以上のタンクが必要。
水素吸蔵合金	合金結晶の原子間空隙に水素原子を拡散させ、金属水素化物として水素を蓄える方法。LaNi ₅ 、Ti _{1.2} Mn _{1.8} などの合金が使用される。	現状では、重量比2~3%の水素しか吸蔵できず、必要量の水素を貯蔵した場合、重量が問題となる。重量が増すと燃費が悪くなる。
液体水素	水素を極低温(-253℃)にして、専用の遮熱タンクに充填したもの。圧縮水素よりコンパクトで質量エネルギー密度が大きい。	液化工程に大量のエネルギーが必要である。また、輸送・貯蔵中にも蒸発等のロスが生じる。総合エネルギー効率の向上が必要である。

② 水素の補給方法: 化石燃料からの改質によるオンサイトの水素製造という方策も考えられるが、総合効率で劣ってしまうため、インフラの問題等は存在するものの、長期的には純水素の利用になると想定される。

	長所	短所
純水素	排出するのが水のみで、燃料電池の性能を最もよく発揮できる。	貯蔵(車載)方法とインフラの整備が課題である。
ガソリン改質	既存のインフラの利用が可能である。	改質のために800℃もの高温が必要であり、硫黄分やCO問題も存在する。CO ₂ の削減への寄与も少ない。
メタノール改質	液体燃料のため扱いやすい。また改質反応温度も低く(250~300℃)、硫黄分も含まない。	インフラの整備が必要である。

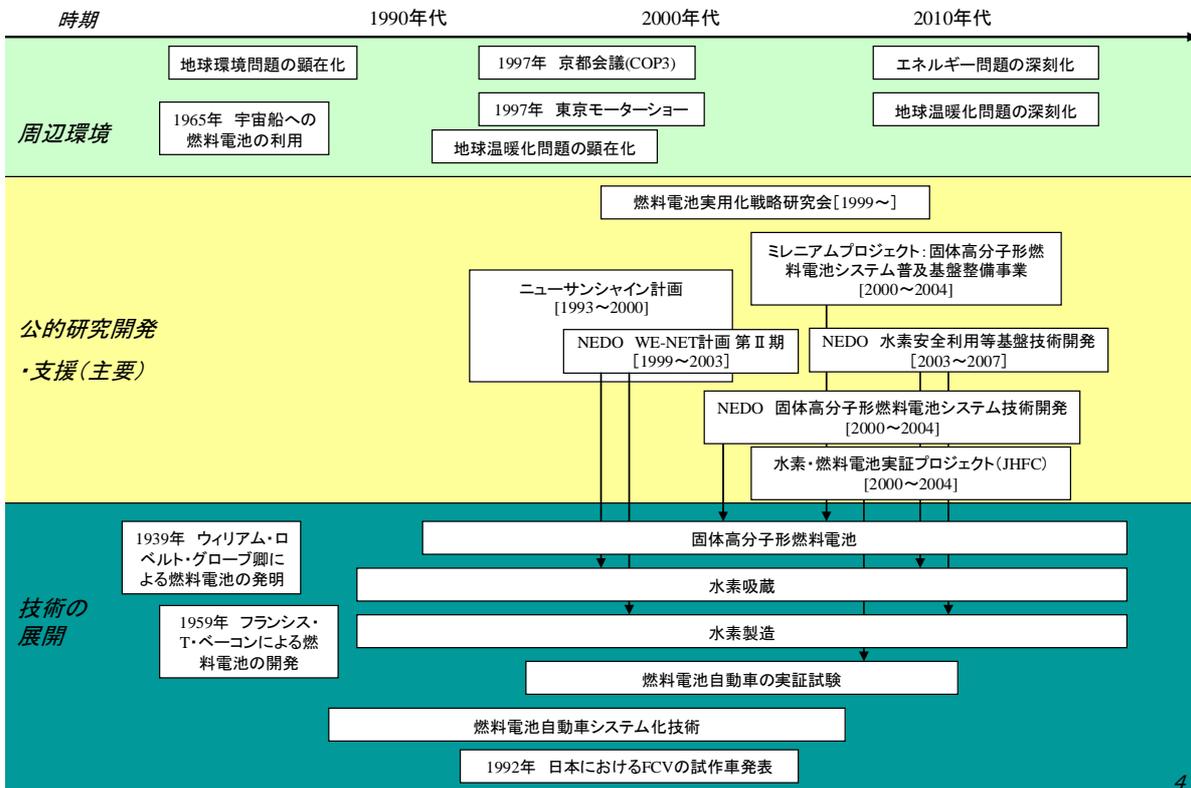
③ 水素の製造方法: 下記のいずれの方法も一長一短で、決め手のない状況である。

	概要	課題
化石燃料	天然ガスやナフサ等から、水蒸気改質法や部分酸化法、自己熱改質法を用いて、水素を製造する。	化石燃料を使用する限り、CO ₂ 削減効果は限定的なものとなる。
原子力	高温ガス炉による水の熱分解等の方法を用いる。	高レベル放射性廃棄物問題等
再生可能エネルギー	バイオマスや太陽光・風力による熱化学的、生物化学的水素製造。	コスト面等、再生可能エネルギー自体の普及が問題である。
副生水素	製鉄業やソーダ産業、石油化学産業の生産プロセスで副次的に生産される水素を利用する。	当面の必要量はまかなうことができるが、水素社会が本格化した場合、需要を満たすことができない。

3

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(1) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け



4

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(2) 技術開発への公的研究開発・支援の寄与内容等

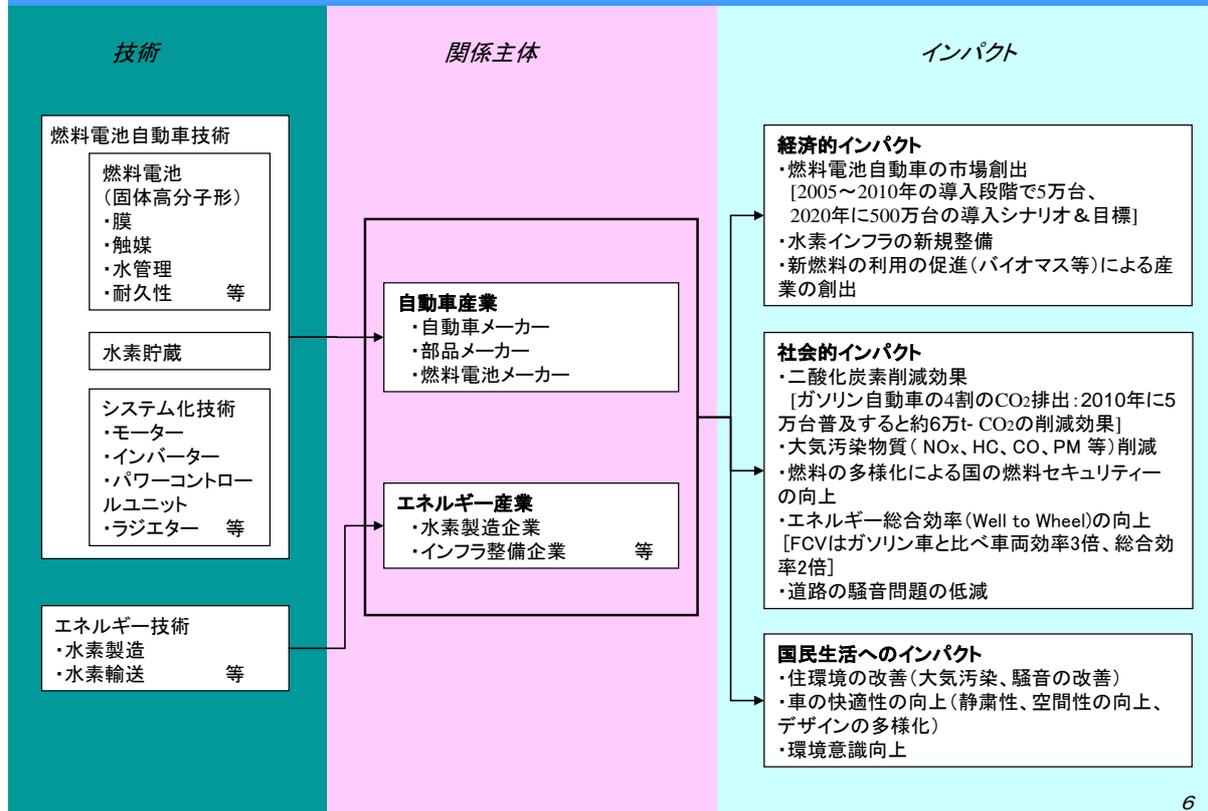
- 燃料電池自動車に関わる研究開発はかなりの部分について自動車メーカーが、独自で行っている。
- 公的な研究開発・支援によりいくつかの有用な要素技術は開発されているが、当該プロジェクトに自動車メーカーは参加しておらず、それらの技術が直接的には利用されていない。しかし、人材面等での間接的な寄与は存在したようである。
- 大学等からの自動車メーカーへの直接的な寄与はあまりないが、部品等のサプライヤーへの寄与は大きかった。
- 実証試験や安全性試験の試験場の設置という側面では寄与している。

公的研究開発・支援	寄与の対象	寄与の形態・内容等(主要例)
NEDO WE-NET計画 第Ⅱ期 [1999～2003年] (約86億円)	・ 水素貯蔵材料の開発	短期実用化技術への集中的投資 ・ 有効水素吸蔵量2.6wt%を持つ V-Ti-Co-Mn系合金の開発に寄与
NEDO 水素安全利用等基盤技術開発 [2003～2007年]	・ 安全対策技術 ・ 水素インフラ関連機器の開発 ・ 革新的・先進的な水素関連技術の	WE-NETプロジェクトを引き継ぐプロジェクト ・ 700気圧の高圧水素タンクの研究開発
NEDO 固体高分子形燃料電池システム技術開発 [2000～2005]	・ PEFCの要素技術開発 ・ PEFCのシステム化技術開発	・ PEFCの高性能化、高耐久化、桁レベルでのコスト低減を実現しうる電解質膜、電極触媒、電極膜接合体、セパレータ等の要素技術開発 ・ コスト削減のためのPEFCの生産技術に関する開発
水素・燃料電池実証プロジェクト (JHFC) [2000～2004]	・ 公道走行時の客観的データ取得 ・ 燃料選択、インフラ確立時の検討 ・ 社会的受容性の醸成	(財)日本自動車研究所が車両関係、(財)エンジニアリング振興協会が水素ステーション関係を担当して、実証試験を実施 ・ 実証試験場(JHFCパーク)の建設 ・ 複数の異なった水素源による水素ステーションの設置
ミレニアムプロジェクト: 固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備事業 [2000～2004]	・ PEFCの安全性・信頼性	ミレニアムプロジェクトの地球温暖化防止等に役立つ環境分野の有力な技術として取り上げられた 安全性・信頼性に係る基準等の策定に向けた試験・評価手法の確立を目指している ・ 高圧水素タンクの安全性評価のための実験設備の設置

5

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

(1) インパクト実現プロセス

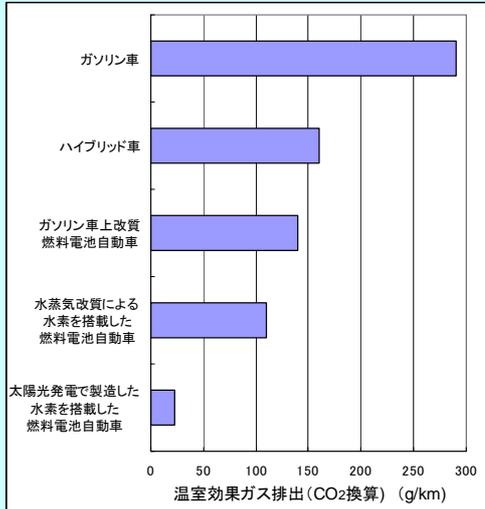


6

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (2) 二酸化炭素削減効果と総合効率

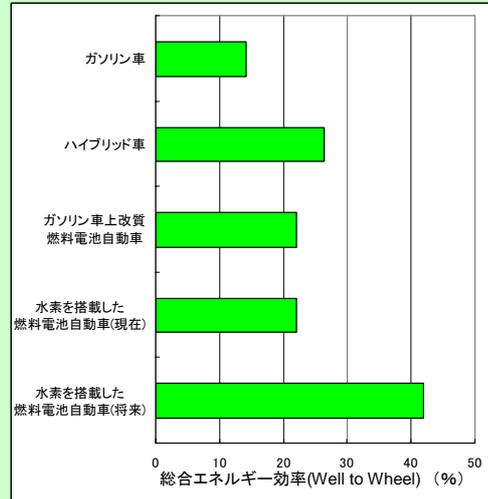
- 燃料電池自動車の温暖化ガス排出量はガソリン改質で50%程度、水蒸気改質で40%程度である。水素の製造に太陽光発電を利用した場合、10%程度となる。
- 燃料効率(Well to Tank)と車両効率(Tank to Wheel)を掛け合わせたものをエネルギー総合効率(Well to Wheel)という。現状では、燃料電池自動車はハイブリッド自動車に及ばないが、将来的には、1.5倍程度の効率を達成することが目標となっている。

① 燃料電池自動車の温室効果ガス排出のライフサイクルアセスメント



(出所) 文部科学省 科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター「図解 水素エネルギー最前線」よりMRI作成

② 燃料電池自動車のエネルギー総合効率 (Well to Wheel)



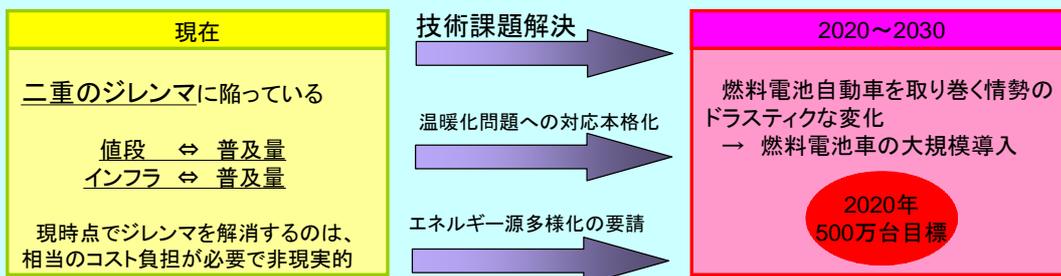
(出所) 平成14年3月29日燃料電池実用化推進協議会資料等より、MRI作成

7

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (3) 燃料電池自動車の普及シナリオと課題

- 燃料電池自動車の技術的な課題には、以下のようなものが存在する。これらの課題が解決と、エネルギー問題(石油枯渇)や地球環境問題(温暖化問題)への社会対応の本格化により、普及が実現のものと考えられる。
- 経済産業省は、燃料電池自動車の普及シナリオを3つのフェーズに分け、2010年以降の本格普及を目指している。

① 燃料電池自動車の普及シナリオ



② 燃料電池自動車の普及に関する技術面の課題

課題	対応技術	概要
航続距離	水素貯蔵	水素貯蔵方法の軽量化、省スペース化
コスト	製造	燃料電池や周辺機器の製造コストの低下
基本性能	燃料電池	低温での作動性能、耐久性向上、循環水の管理、触媒(白金)の使用量低減
インフラ	水素製造・輸送・供給	環境負荷の少なく、低コストの水素製造方法の確立。水素輸送および供給インフラの整備
社会受容性	試験、標準	水素や高電圧の安全性の担保

8

4. まとめ

- 燃料電池自動車の中核をなすのは、燃料電池技術と水素貯蔵技術である。周辺技術としては、インバーター、ラジエーター、パワーコントロールユニット、モーターなどが存在する。現在の主流は、燃料電池は固体高分子形で、水素貯蔵は高圧タンクである。
- 燃料電池自動車に関わる研究開発は、ほぼ自動車メーカーが独自で行っている。公的な研究開発・支援により触媒等いくつかの有用な要素技術は開発されているが、当該プロジェクトに自動車メーカーは参加しておらず、それらの技術が直接的には利用されていない。しかし、人材面等での間接的な寄与は存在したようである。実証試験や安全性試験という側面では寄与している。
- 技術面では、航続距離とコストが最大の問題である。課題解決に繋がる技術はまだ確定しておらず、広範な基礎研究が必要である。燃料電池に関する技術は、日本では研究開発が始まったばかりで、公的研究機関や大学にあまり根付いていないので、研究の裾野を広げることと、実用化に繋げるための研究開発マネジメントが不可欠である。
- 二酸化炭素削減、エネルギー効率向上、燃料セキュリティの向上、騒音問題の解決など、多くの社会的インパクトが存在する。また、燃料電池自動車市場の創出による経済活性化効果など、経済的なインパクトも非常に大きい。自動車の性能向上による国民生活へのインパクトも大きな物となると予想される。

9

4. まとめ

(参考) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

①技術課題に関して

- 航続距離を伸ばすことと、コストを削減することが最大の課題である。現状では、ブレークスルーを起こす技術は見つかっていない。(企業・マネージャー)
- 要素技術としては、燃料電池の低温作動性向上や耐久性向上、白金触媒の使用量の低減、循環水の管理など多くの課題が存在する。(企業・マネージャー、関係機関・理事、関係機関・研究者)
- 水素を何で作るか、どうやって供給するかも考えなければならない問題である。爆発性のある水素をどうやって安全に扱うかは難しい問題である。(企業・マネージャー、関係機関・理事、関係機関・研究者)
- 燃料電池自動車はまだ多くの技術開発が必要であり、早急な普及は難しい。いくつかの技術的ブレークスルーとエネルギー問題、環境問題への社会的機運の高まりとが達成されたときに、本格的な普及が始まると考えている。(企業・マネージャー、関係機関・理事)

②公的寄与に関して

- 燃料電池はもともと宇宙や防衛的な側面が大きく、日本の研究開発は遅れていた。固体高分子形の燃料電池の開発をメーカーは10年しているが、国では3年程度しかしていないため、国内に技術の蓄積がないのが現状である。燃料電池と水素貯蔵に関する主に材料の基礎研究について重点的に進め、要素技術の蓄積をして欲しい。(企業・マネージャー、関係機関・理事)
- NEDOからの委託研究は技術の裾野を広げるのに非常に役立っている。技術を広める活動をしているのが非常にありがたい。文科省も研究成果を対外的にアピールすることをして欲しい。(企業・マネージャー)
- 大学の研究者はレベルは高いのだが、実用化のニーズ(企業ニーズ)に適合していない研究をしている印象がある。(企業・マネージャー)
- これまでの日本の公的研究開発・支援は同様の研究課題を複数の場所で行うことをあまり容認していなかった。しかし、複数の場所で同一のテーマを研究するという分散競争型の支援も考えて欲しい。(関係機関・研究者)
- 基礎研究は文科省で実用化はNEDOという風に担当が分かれているのが研究者の風通しを悪くしている。日本として技術を蓄積していくために、知恵を集中させて、有用な基礎研究を行って欲しい。(関係機関・研究者、企業・マネージャー)

10

3-11 マイクロリアクタによる革新的化学品製造技術(製造技術)

(1) 事例分析に当たって

① 対象とした技術の概要

本事例分析では、当該技術を以下のように捉え、調査・分析の対象とした。

- マイクロチップ: 概ね数 cm 角のガラス、シリコン、プラスチック等の基盤上にエッチングにより、平面的な流路を形成したもの。基盤を積層することによりスケールアップが容易である。また同じ基盤上に、ポンプ、センサ、フィルタ等の機能を有する素子を形成することにより、1枚の基盤が微小な工場のような完結した機能をもたせることも可能である。
- マイクロプラント: 通常の化学品製造に用いられている化学装置を概ね数 cm 角にまで微小化したイメージの装置。ステンレス鋼等でできており、内部には流路が立体的に多数形成されている。ポンプ等のインフラ設備は外部化される。

② 調査方法および対象

本事例調査では、当該技術に関する有識者へのヒアリング調査を主とし、さらに文献調査・統計データ分析を実施した。

ヒアリング調査の対象を以下に示す。

- 学識経験者(公的研究開発プロジェクトの参画者)3名
- 企業(化学品製造装置(マイクロリアクタ)の開発メーカー)1名

(2) 技術動向

マイクロリアクタとは $10\ \mu\text{m}$ ~ $500\ \mu\text{m}$ の幅をもつ流路の中で化学反応、混合、熱交換等の化学操作を行い、化学品を合成する微小反応装置である。

化学操作を行う場が微小であることに起因して、これまで注目されていなかった独特の効果を有する反応場が形成されることから、新たな化学品を製造できる可能性が拓け、化学産業に革新的な変革をもたらす可能性がある。また化学合成や化学工学等の学問分野においては、新しい科学の体系が形成される可能性もある。すなわち産業と学問分野の双方に全く新たな革新と可能性を拓く可能性がある技術として注目されている。

マイクロリアクタには大きく、マイクロチップとマイクロプラントの2タイプがある。

マイクロリアクタの概念が登場したのは1980年代であるが、この技術が注目を集めるようになったのは1990年代後半である。海外では1997年にドイツ化学工学会の主催により、第1回のマイクロ化学プロセスの国際会議が開催された。

我が国では、1998年に近畿化学協会にて「ロボット合成研究会」がスタートしこの中でマイクロリアクタに関する活動が行われたこと、2000年に財団法人 化学技術戦略推進機構がマイクロリアクタに関するロードマップを作成したこと、同じく2000年に「化学とマイクロシステム研究会」が発足したことなどが、日本における技術開発の嚆矢となっている。

現在の技術状況を一言で言うと、原理原則やそれを実現するハードの方向が固まり、次の段階へステップアップしたところであると言える。次の段階での課題は「実用化に向けた技術開発」と「新しい研究分野の創出」である。

実用化に向けた技術開発では、マイクロリアクタの特徴を生かして、どのような化学品を製造するのかターゲットを決め、製造装置と生産技術を開発することになる。このためには、ポンプ、バルブなどのマイクロリアクタ向けの周辺装置の開発を行い、全体システムとして完成させる必要がある。

新しい研究分野の創出では、新たな学問分野としての微小な反応場での化学(ナノ・マイクロ化学)の創出が望まれる。微小な反応場では、物質の物理・化学特性が従来のようなマクロな場におけるものとは異なり、新たな物理化学理論、反応理論や化学工学理論が必要になるからである。

なおマイクロチップによるマイクロリアクタは、化学品製造だけでなく、生体物質や内分泌かく乱物質等の微量高速多成分分析装置としての応用も期待されており、化学品製造よりも実用化しやすいと考えられる。早ければ2006年に、マイクロリアクタによって製造された化学品および分析装置が市場に導入されるのではないかと

と予想されている。

(3) 公的研究開発・支援の位置づけ

本技術のコンセプトは海外で生まれ、我が国では一部の大学で独自に研究が行われていた。2000 年前後に独自技術の開発を契機としてキャッチアップを果たし、公的研究開発・支援によって企業も巻き込んだ基礎研究が進められている。

マイクロアクタの技術開発は基盤技術開発の段階であるため、民間企業等が独自に実施するには未だリスクが大きい。このため殆どすべての技術開発活動は、公的研究開発に関連して実施されているのが現状である。また民間企業はこれらの公的研究開発への直接の参画や、公的研究開発に参画している大学の研究者等を通じて本技術の習得をおこなっている。このことから本技術開発に対して公的研究開発は極めて大きな寄与があると言える。

マイクロアクタに関する主な公的研究開発・支援は以下の通りである。

(実証試験)

- NEDO・革新的部材産業創出プログラム「マイクロ分析・生産システムプロジェクト」は、マイクロプロセス技術開発とマイクロプラント技術開発の両者を含むものであり、6プロジェクトの中で唯一のマイクロプラント技術開発を実施しているプロジェクトとなっている。

(基盤技術開発)

- 公的研究開発・支援は 2001 年度に経済産業省および文部科学省でいっせいに始まった(例外として(財)神奈川科学技術アカデミー(KAST)において 1998 年より分析チップの開発を中心としたプロジェクトが始まっている)。現在、経済産業省/NEDO で2プロジェクトが(2004 年度より1プロジェクトが追加の予定)、文部科学省/科学技術振興機構で4プロジェクトが進行している。これらのプロジェクトは、マイクロチップ製造技術の開発、検出技術の開発、流体制御技術の開発など、いずれもマイクロアクタ実用化のための基盤技術の開発が主たる内容になっている。

インパクトアンケート調査結果によると、当該技術に対する公的研究開発・支援の寄与度合いが「大」もしくは「中」と回答した割合は 68%に達している。このうち「大」とした回答は 35%であるが、これは製造技術分野(未実現)平均の21%に比べかなり大きく、本技術における公的研究開発・支援の寄与が大きいことを示している。ヒアリング調査においても同様の結果が得られている。

(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

マイクロアクタは、これまで未知であった領域の技術であるとともに、将来の産業の基盤技術になる可能性を有している。具体的には次のような可能性がある。

- 新たな化学品製造技術の実現によって、化学産業に革命的な変革をもたらす可能性。
- 化学合成や化学工学等の学問分野において新しい科学の体系が形成される可能性。
- 臨床検査・診断等の分野で画期的な効率化や利便性の向上を実現する可能性。

このため長期的には、大きな経済的インパクト、社会的インパクトが期待される。本技術は主として化学品という中間投入財の製造のため、国民生活への直接的インパクトは比較的小さいが、間接的には最終製品等を通じて大きなインパクトをもたらすと考えられる。期待されるインパクトについて以下に示す。

○ 経済的インパクト

- 当面は研究市場である。市場規模は現在 20～30 億円程度。
- 2006 年から市場が立ち上がり始め、2010 年には 1000～2000 億円規模との予想がある(マイクロアクタおよびマイクロアクタによって製造された化学品、分析装置等の市場。ただし、研究開発後まだ間もないため、どのような化学品を製造するか自体は未確定)。

○ 社会的インパクト

- 廃棄物削減効果。
- 省エネ効果・二酸化炭素削減効果。
- 化学反応の安全性向上。

- 精密化学品の製品化、低価格化(医薬中間体等)。
 - 環境物質分析の簡便化。
 - ポータブル燃料電池実現への寄与。
- 国民生活へのインパクト
- 新機能化学品、新医薬品等の製品化による生活水準の向上。
 - 多項目・高速臨床検査・診断、自己・日常検査の簡便化。
 - 高性能小型人工臓器実現への寄与。

インパクトアンケート調査結果によると、経済的インパクト、社会的インパクトが「大」または「中」とした回答はそれぞれ 65%、64%であるのに対して、国民的インパクトは 35%にとどまっている。これは化学品製造が中間投入財の生産を行うものであり、国民生活の目にふれにくいものであるためと考えられる。

(5) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見(参考)

- マイクロリアクタ実用化のための基盤技術の開発課題はまだ多く残されている(ポンプ等の周辺設備の開発、システム化技術、システム制御技術、微小反応場における化学反応シミュレーションシステムの開発等)。この研究開発を引き続き公的研究開発により継続する必要がある。基盤技術の開発が進展した後は、各企業等において、具体的なターゲットを設定した化学品製造技術の開発が容易になる。(学識経験者)
- 新たな学問体系の構築を目指して、微小反応場に関する科学的知見を蓄積することも、本分野の発展にとって極めて重要である。これに対する公的研究開発支援も必要である。(学識経験者)
- マイクロリアクタは今後数年後には実用化が徐々に始まるものと見込まれている。この際には技術の標準化が重要な課題となる(例:マイクロリアクタの径、形状等の規格化、接続方法の標準化等)。海外では既に一部で標準化に向けた動きが始まっている。我が国もマイクロリアクタ技術開発のフロントランナーとして、国際的な標準化の活動に積極的に参画し更にはイニシアチブをとることが望まれる。(学識経験者)
- 臨床検査・診断装置、分析装置の分野では、導入実績のある装置が重用され、新技術の普及には障壁がある場合がある。これらの分野においては導入初期において、公的セクターが中心となり積極的に導入を図ることにより、新技術を市場に根付かせることも有効であり、必要である。(学識経験者)

1. マイクロリアクタとは何か

(1) マイクロリアクタの概念

マイクロリアクタはこれまでの化学プラントの概念を大きく変える微細反応装置である。既存の化学プラントの小型化(事例参照)だけでなく、マイクロリアクタに特有の様々な特徴があることが明らかになりつつあり(後述)、画期的な技術であると共に、科学面でも新たな分野を開くものとして期待されている。

(事例)(株)東ソーが開発した、ゲル微粒子を年間30t生産するマイクロリアクタは、従来20m×10m×4mの大きさのプラントが下駄箱の大きさになった

図 マイクロリアクタと従来型化学プラントの比較

	マイクロリアクタ	従来型化学プラント
反応場の規模	幅50～500 μ m(※)の微細流路	数10ml～数kl以上
反応装置のイメージ	固体基盤上にMEMS等のマイクロテクノロジーにより形成・積層	従来型反応容器
反応装置の材質	ガラス、シリコン、プラスチック、ステンレス鋼等	ステンレス鋼等
製造する化学品	精密化学品 分析装置としても利用可能	汎用化学品から精密化学品まで

(※)マイクロリアクタの流路の幅については、200～300 μ mとすべきとの意見もある。

1

1. マイクロリアクタとは何か

(2) マイクロリアクタの種類

マイクロリアクタには大きく、マイクロチップタイプのもとマイクロプラントタイプの2種類がある。

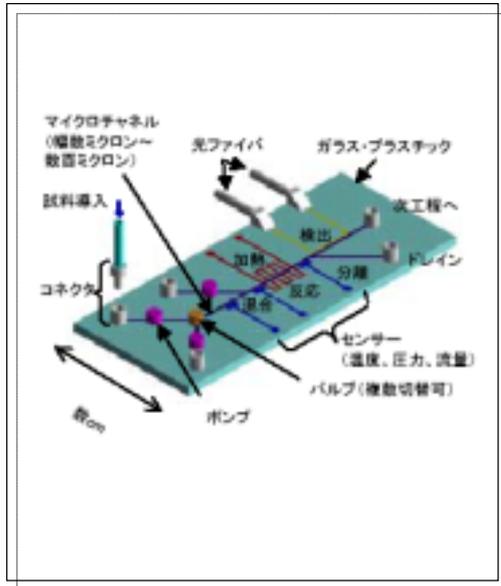
タイプ	概要	主な用途
マイクロチップ	概ね数cm角のガラス、シリコン、プラスチック等の基盤上にエッチングにより、平面的な流路を形成したものの。基盤を積層することによりスケールアップが容易である。また同じ基盤上に、ポンプ、センサ、フィルタ等の機能を有する素子を形成することにより、1枚の基盤が微小な工場のような完結した機能をもたせることも可能である。	<ul style="list-style-type: none"> ・化学品製造 ・分析・検査
マイクロプラント	通常の化学品製造に用いられている化学装置を概ね数cm角にまで微小化したイメージの装置。ステンレス鋼等でできており、内部には流路が立体的に多数形成されている。ポンプ等のインフラ設備は外部化される。	<ul style="list-style-type: none"> ・化学品製造

2

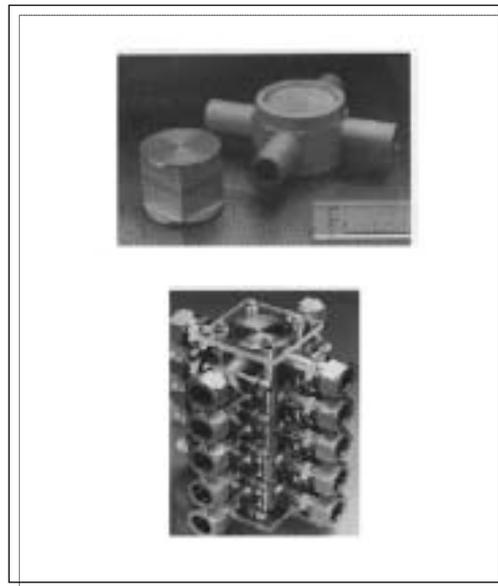
1. マイクロリアクタとは何か

(3) マイクロリアクタのイメージ

マイクロチップ



マイクロプラント

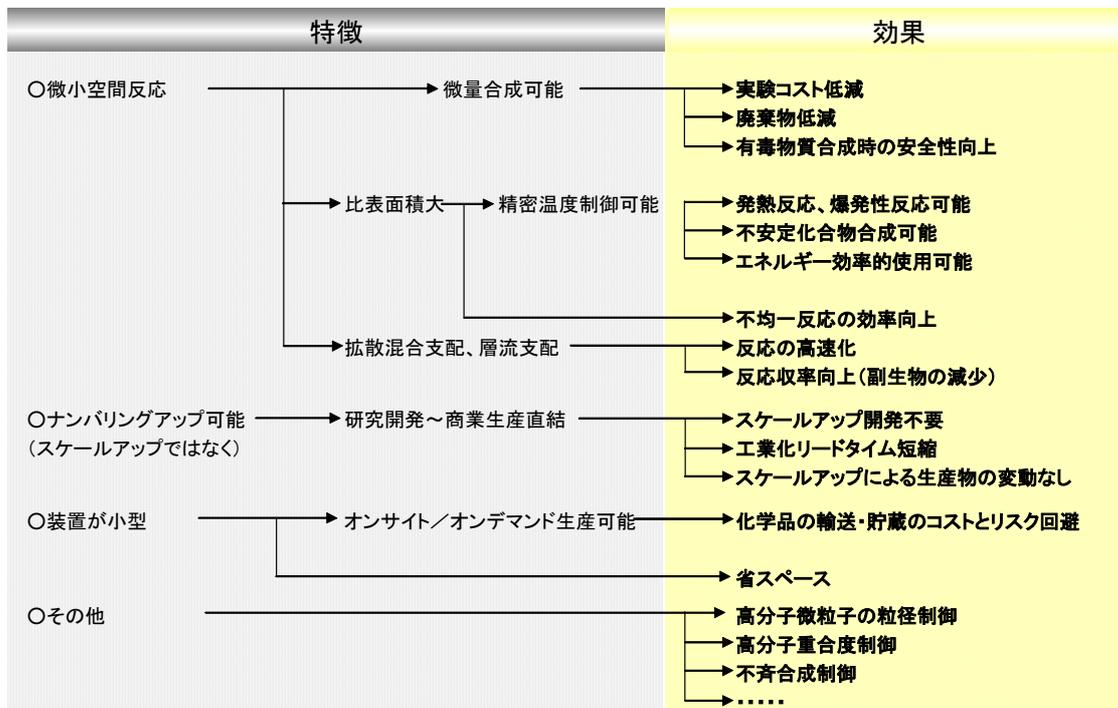


(出所) マイクロマシンセンターホームページ
NEDO「マイクロ分析・生産システム」プロジェクト関連資料より転載

3

1. マイクロリアクタとは何か

(4) マイクロリアクタの特徴

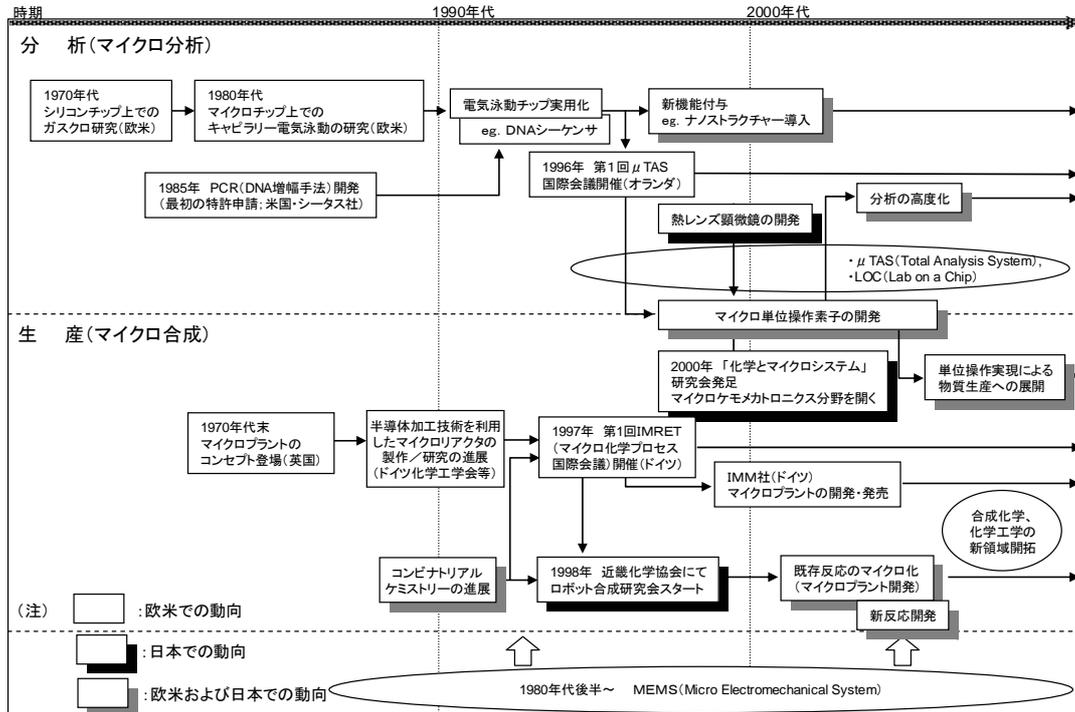


4

2. 技術動向

(1) マイクロリアクタ技術開発の流れ

- マイクロリアクターのコンセプトは海外で生まれ、我が国では一部の大学で独自に研究を実施していた。
- 微細加工技術の進展と共に1990年代後半から注目を浴びるようになった。



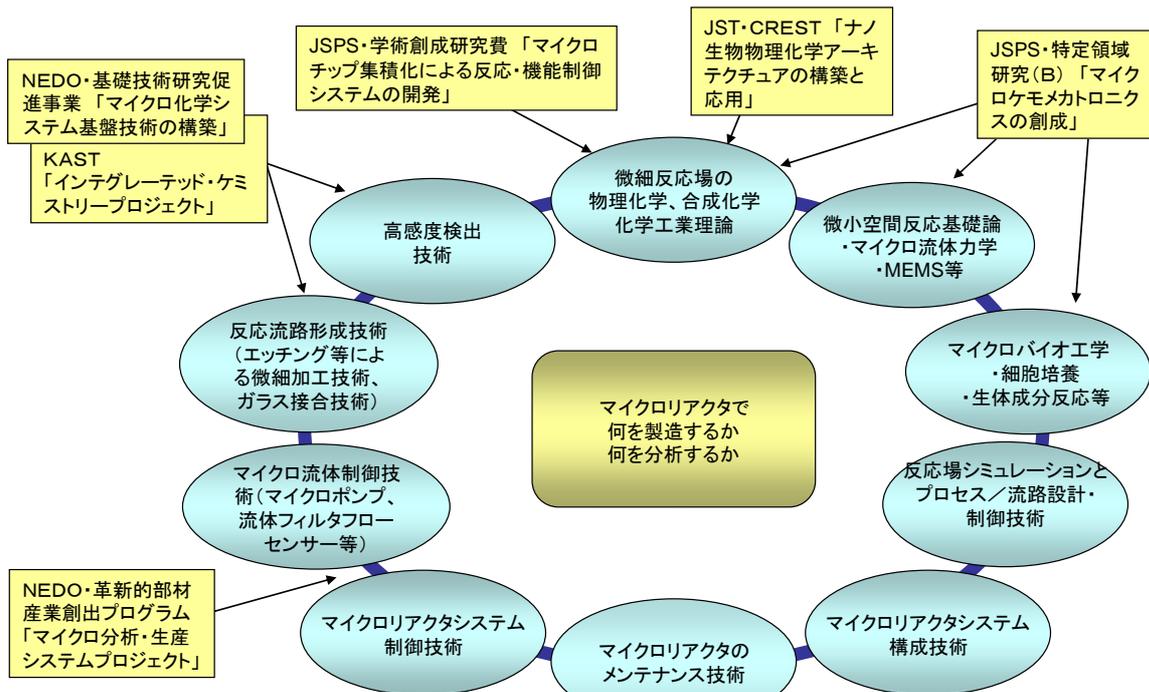
5

2. 技術動向

(2) マイクロリアクタの構成要素技術

構成要素技術は多様である。

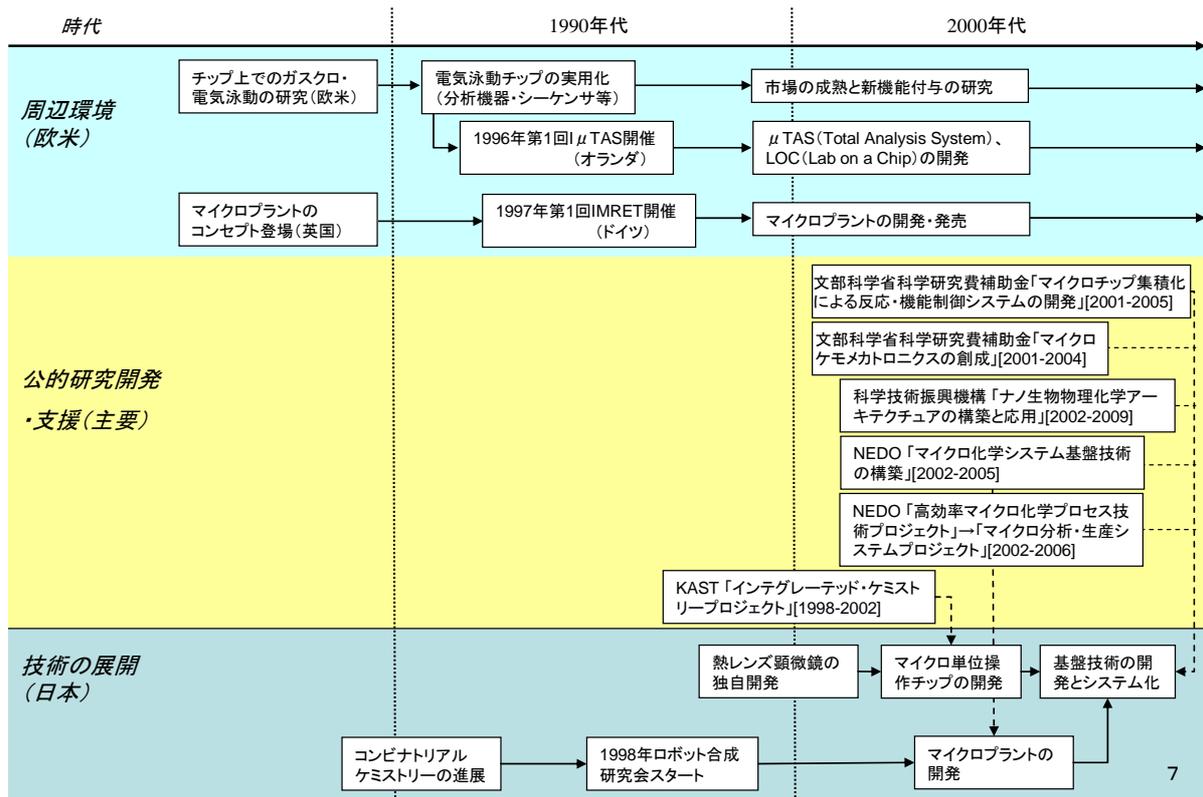
これらの要素技術は、マイクロリアクタで何を作るのか、何を分析するのかといった目的に合わせてシステム化される。



6

3. 公的研究開発・支援の位置づけ

(1) 技術開発の経緯と公的研究開発の位置づけ



2. 公的研究開発・支援の位置付け

(2) 技術開発への公的研究開発・支援の寄与内容等

- KAST 「インテグレートド・ケミストリープロジェクト」が本分野に対する公的研究開発・支援の嚆矢であり、これをきっかけとして独自技術の開発と欧米へのキャッチアップが一気に進んだ。
- 本分野の研究開発は基礎的な段階にあり、大学を中心にして研究開発が進められた。
- NEDO・革新的部材産業創出プログラム「マイクロ分析・生産システムプロジェクト」において初めて多数の民間企業が参画することとなり、産業界での実用化が強く意識されると共に研究開発に広がりができた。

公的研究開発・支援	寄与の対象	寄与の形態・内容等(主要例)
KAST 「インテグレートド・ケミストリープロジェクト」[1998年度～2002年度]	・高感度検出技術 ・反応流路形成技術	・東京大学・北森教授が中心となって実施 ・高度な分析技術を集積した分析チップを開発 ・神経細胞間の分子授受による情報伝達機構を明らかにし、記憶のメカニズムを探る
文部科学省科学研究費補助金・学術創成研究費 「マイクロチップ集積化による反応・機能制御システムの開発」[2001年度～2005年度]	・微細反応場の科学的研究	・化学修飾することによって科学的機能を付加された微小空間での反応や物性を電場、磁場等の外場によって制御し、高度機能の創出を目指す
文部科学省科学研究費補助金・特定領域研究(B) 「マイクロケモカトロニクス」[2001年度～2004年度]	・微細反応場の科学的研究 ・微小空間反応基礎論 ・マイクロバイオ工学	・電気・機械系研究者と化学・バイオ系研究者が共同し、マイクロケモカトロニクスという新領域を創生する
科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業(CREST) 「ナノ生物物理化学アーキテクチャの構築と応用」[2002年度～2007年度]	・微細反応場の科学的研究	・マイクロスケールの化学システムにナノテクを融合し、高機能化学・バイオ素子の開発を目指す
NEDO・基礎技術研究促進事業 「マイクロ化学システム基盤技術の構築」[2002.1～2005.3]	・高感度検出技術 ・反応流路形成技術	・マイクロ化学技術株式会社を委託先とし、東京大学、財団法人神奈川科学技術アカデミーが協力機関として参加する体制で実施
NEDO・革新的部材産業創出プログラム 「マイクロ分析・生産システムプロジェクト」[2002年度～2006.3]	・マイクロ化学プラント技術 ・マイクロチップ技術 ・マイクロ化学プロセス技術の体系化	・マイクロ化学プロセス研究組合を構成 ・東京大学、京都大学、東京工業大学がそれぞれ集中研究所となるとともに、民間企業がのべ31社参加 ・独立行政法人産業技術総合研究所が参画

3. 公的研究開発・支援の位置づけ (3) 公的研究開発の流れ

	平成13年度 (2001年度)	平成14年度 (2002年度)	平成15年度 (2003年度)	平成16年度 (2004年度)	平成17年度 (2005年度)	平成18年度 (2006年度)
文部科学省関連	2001年度～2005年度 文部科学省科学研究費補助金・学術創成研究費「マイクロチップ集積化による反応・機能制御システムの開発」 ・機能性微小空間の創製と高効率化学反応の開発 ・高性能化学機能をもつマイクロチップの開発(超高性能コンピケムデバイスの創製及び超高性能診断チップの開発)					
	2001年度～2004年度 文部科学省科学研究費補助金・特定領域研究(B)「マイクロケモメカトロニクス」の創成 ・マイクロ流体素子の微細加工と流体制御 ・マイクロ化学システム ・バイオ・環境分野への応用					
	2001年度～2005年度 文部科学省科学研究費補助金・基礎研究(S)「微小液/液界面を利用した新規な反応・分析法の展開」 ・油/水界面過程の新たな反応や分析法への応用及びマイクロチャンネル中の反応や分析の自動化					
	2002年度～2009年度 科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業(CREST)「ナノ生物物理化学アーキテクチャの構築と応用」 ・高度疾病センサーや選択的機能人工臓器デバイスなど高機能化学・バイオ素子の創出					
経済産業省関連	2002.1～2005.3 NEDO・基礎技術研究促進事業「マイクロ化学システム基盤技術の構築」 ・マイクロ化学チップ製造技術(高効率ガラス接合技術) ・超高度検出技術 ・マイクロバイオチップ応用技術					
	2002年度～2006.3 NEDO・革新的部材産業創出プログラム 「高効率マイクロ化学プロセス技術プロジェクト」→「マイクロ分析・生産システムプロジェクト」 ・マイクロ化学プラント技術開発 ・マイクロチップ技術開発 ・マイクロ化学プロセス技術の体系化					
その他	1998年度～2002年度 KAST「インテグレートド・ケミストリープロジェクト」 ・高度な分析技術を集積した分析チップを開発 ・神経細胞間の分子授受による情報伝達機構を明らかにし、記憶のメカニズムを探る					

9

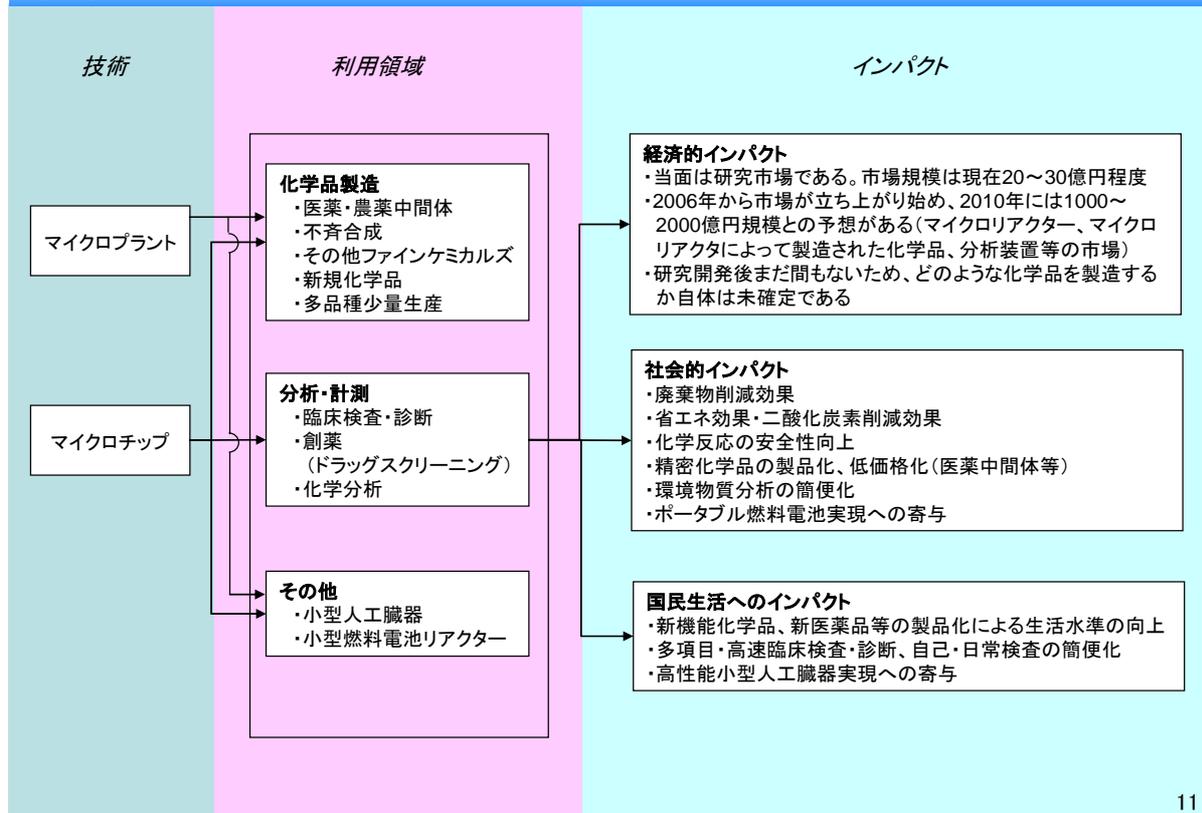
4. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (1) マイクロリアクタによって可能になること

化学品製造および分析・計測等の両面で、極めて大きな可能性を有している。

化学品製造		分析・計測等	
要因	効果	応用分野	具体例
反応場の空間距離が小さい	<ul style="list-style-type: none"> ・反応の高速化 ・高温・高圧反応の安全な実施 ・危険物質反応の安全な実施 ・不安定物質の合成容易化 ・副生物、廃棄物の減少 ・省エネルギー 	臨床検査・診断分野 (がん、アレルギー診断、血糖値分析等)	<ul style="list-style-type: none"> ・現場分析が可能な多項目・高速臨床検査・診断装置 (検査センター外注 →ベッドサイド、手術室等でのリアルタイム検査) ・家庭での自己、日常検査 ・検体量微量化
特異な反応場の形成	<ul style="list-style-type: none"> ・新規合成プロセスの開発 ・新規物質の開発 	創薬分野	<ul style="list-style-type: none"> ・高速ドラッグスクリーニング
積層によりスケールアップが容易	<ul style="list-style-type: none"> ・研究開発→工業化のリードタイム短縮 ・スケールアップによる生産物の変動がない 	化学分析分野	<ul style="list-style-type: none"> ・ポータブルな環境物質分析システム ・自動分析システム
化学プラントが小型化	<ul style="list-style-type: none"> ・オンデマンド生産、オンサイト生産が可能 ・プラントコスト低減 ・多種少量生産への対応が容易 	医療分野	<ul style="list-style-type: none"> ・小型高性能人工臓器
		エネルギー分野	<ul style="list-style-type: none"> ・小型燃料電池リアクター (ノートブックパソコン用等高寿命高出力電池)

10

4. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (2) マイクロリアクタによるインパクト実現プロセス



11

5. まとめ

- マイクロリアクタはまだ基盤技術開発の段階にあり、企業が独自に取り組むにはリスクが大きいことから、公的研究開発・支援が基盤技術の確立と企業における研究の蓄積に極めて大きく寄与している。
- 早ければ2006年には、マイクロリアクタによって製造された化学品や分析装置が市場に導入されるとの予測がある。初期市場の形成時には、公的セクターが中心となり積極的にマイクロリアクタを導入することで、新技術を市場に根付かせることも有効と考えられる。
- マイクロリアクタは注目を浴びてからまだ間もない技術であるが、これまで未知であった領域の技術であるとともに、将来の産業のマイクロリアクターのコンセプトは海外で生まれ、我が国では一部の大学で独自に研究が行われた。2000年前後に独自技術の開発を契機としてキャッチアップを果たし、公的研究開発・支援によって企業も巻き込んだ基礎研究が進められている。
- 基盤技術になる可能性を有している。
 - 新たな化学品を製造できる可能性が拓け、化学産業に革命的な変革をもたらす可能性
 - 化学合成や化学工学等の学問分野において新しい科学の体系が形成される可能性
 - 臨床検査・診断等の分野で画期的な効率化や利便性の向上を実現する可能性
- 経済的インパクト、社会的インパクトは大きい。また本技術は主として化学品という中間投入財の製造のためのものであることから国民生活への直接のインパクトは比較的小さいが、間接的には最終製品等を通じて大きなインパクトを有している。

12

5. まとめ

(参考) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

■ 基盤技術の開発:

マイクロアクタ実用化のための基盤技術の開発課題はまだ多く残されている(ポンプ等の周辺設備の開発、システム化技術、システム制御技術、微小反応場における化学反応シミュレーションシステムの開発等)。今後も引き続き公的研究開発により研究を継続する必要がある。基盤技術の開発が進化した後は、各企業等において、具体的なターゲットを設定した化学品製造技術の開発が容易になる。(学識経験者)

■ 科学的知見の蓄積:

新たな学問体系の構築を目指して、微小反応場に関する科学的知見を蓄積することも、本分野の発展にとって極めて重要である。これに対する公的研究開発支援も必要である。(学識経験者)

■ 標準化:

マイクロアクタは今後数年後には実用化が徐々に始まるものと見込まれている。この際には技術の標準化が重要な課題となる(例:マイクロアクタの径、形状等の規格化、接続方法の標準化等)。海外では既に一部で標準化に向けた動きが始まっている。我が国もマイクロアクタ技術開発のフロントランナーとして、国際的な標準化の活動に積極的に参画し更にはイニシアチブをとることが望まれる。(学識経験者)

■ 市場創出:

臨床検査・診断装置、分析装置の分野では、導入実績のある装置が重用され、新技術の普及には障壁がある場合がある。これらの分野においては導入初期において、公的セクターが中心となり積極的に導入を図ることにより、新技術を市場に根付かせることも有効であり、必要である。(学識経験者)

3-12 多目的看護や障害者への機能補助を行うロボット(福祉ロボット)(製造技術)

(1) 事例分析に当たって

① 対象とした技術の概要

本事例分析では、当該技術を以下のように捉え、調査・分析の対象とした。

- 福祉ロボット開発に向けたシステム技術。
- 福祉ロボット開発に向けた要素技術。
- 福祉ロボット開発に向けた基盤技術。

② 調査方法および対象

本事例調査では、当該技術に関する有識者等へのヒアリング調査を主とし、さらに文献調査・統計データ分析を実施した。

ヒアリング調査の対象を以下に示す。

- 学識経験者(立命館大学教授)1名
- 企業(自立支援ロボットメーカー・役員、マネージャー)2名

(2) 技術動向

福祉ロボットとは、障害者や高齢者を対象に身体機能を補う手段として、直接物理的な作業をするロボットのことを示し、自立支援ロボットと介護支援ロボットに大別される。自立支援ロボットとは、障害者や高齢者が日常生活で必要な作業を自立して行うことを支援するロボットであり、主に移動支援・食事支援・排泄支援を目的としている。一方、介護支援ロボットとは、自立支援ロボットを利用しても自立ができない障害者や高齢者の介護を支援するロボットのことであり、食事搬送支援ロボット、入浴支援ロボット等が該当する。

また、福祉ロボットではないが、福祉の向上に寄与するロボットとして社会参加支援ロボット、間接作業支援ロボット(掃除ロボット等)、機能回復支援ロボット(歩行訓練支援ロボット等)、精神賦活支援ロボット(癒し系ロボット等)がある。

日本で福祉ロボットの開発が着目されたのは1990年頃である。来るべき高齢者社会では、障害者や高齢者が増加する一方、相対的に看護者や介護者が減少するため、家庭内での看護力・介護力の低下が危惧されている。このため、看護・介護業務を可能な限り機械化・自動化することで、看護者や介護者の業務負担の軽減、障害者や高齢者の自立を実現するために、1990年頃から福祉ロボットの研究開発が進められた。

1990年代に大学で実施された福祉ロボット研究開発は、その殆どが介護支援ロボットであった。介護支援ロボットは、ハイテクでありマーケットも大きいロボットである一方、安全面で課題が多く当面の実用化は困難である。また、1990年代には入浴車、排泄機器等が開発されたが、これらはその大半がマニピュレータ型福祉機器であり、福祉ロボットには該当しない。その結果、1990年代には福祉ロボットは、殆ど実用化・製品化されることがなかった。欧州では福祉ロボットに対する研究開発は1970年代から始まり、1990年頃には製品化されており、日本は欧州と比較して遅れをとっている。日本における当該技術に対する本格的な公的研究開発は2000年代に入ってからであり、福祉ロボット開発に向けたシステム技術、要素技術、基盤技術に寄与している。

(3) 公的研究開発・支援の位置付け

当該技術開発に寄与があったと指摘された公的投資について、主なものを以下に示す。

(大学や公的研究機関における基礎研究の継続・蓄積)

- 「次世代ロボット基盤的要素技術開発」(経済産業省、2003年度～2005年度)は、「21世紀ロボットチャレンジプログラム」の一つに位置づけられ、ロボットの要素技術(センサ技術、通信技術等)の開発が行われている。

(民間で実施される応用・実用化研究への資金提供)

- 「福祉用具開発研究委員会」(厚生労働省、(財)テクノエイド協会、1989年～)、「医療福祉機器技術研究開発」(旧通商産業省、1990年代～)では、入浴機器・移動機器・排泄機器などマニピュレータ型福祉機器の研究開発が行われた。特に、「福祉用具開発研究委員会」による公的支援により、マニピュレータ型

福祉機器に近い自立支援ロボット(食事支援ロボット)が製品化された。

- 「次世代ロボット実用化プロジェクト」(経済産業省、2004年度～2005年度)は、「21世紀ロボットチャレンジプログラム」の一つに位置づけられ、ロボットのシステム技術(安全技術、カスタマイズ性、パワーアシスト技術)の開発、数体の福祉ロボットのプロトタイプ製作が行われている。このプロジェクトは引き続き、「人間支援型ロボット実用化プロジェクト」(経済産業省、2005年度～2007年度)として研究開発が継続されている。

(標準化の支援、策定)

- 「ロボットの開発基盤となるソフトウェア上の基盤開発」(経済産業省、2002年度～2004年度)は、「21世紀ロボットチャレンジプログラム」の一つに位置づけられ、ロボットの基盤技術(ソフトウェアの標準化)の開発が行われた。このプロジェクトは引き続き、「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」(経済産業省、2005年度～2007年度)として研究開発が継続されている。

インパクトアンケート調査結果では、公的研究開発・支援の寄与の割合は、「大」と「中」の合計が回答者の約55%と製造技術分野の平均と比較して小さい。また、開発・実用化までの寄与が大きく、民間への資金投入が多いとの回答も特徴的である。ヒアリング調査においてもほぼ同様の見解が得られている。

(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

福祉ロボットは、家庭、福祉施設、病院で利用されることで、以下に示すインパクトを実現すると期待されている。

- 経済的インパクト
 - 福祉分野におけるロボット市場の拡大および関連産業における雇用創出。
 - － 2010年の医療・福祉分野市場規模1670億円、2025年の医療・福祉分野市場規模9310億円
 - ロボット技術の推進によるソフトウェア、ハードウェア市場の拡大。
 - 在宅看護化による費用の削減(医療機関等における看護人員への負担削減、医療費の低下)。
- 社会的インパクト
 - 障害者、高齢者の社会参加の促進。
 - 介護負担軽減による介護者の社会参加の促進。
 - 福祉社会の実現。
 - 住宅環境の改善。
- 国民生活へのインパクト
 - ゆとりや癒しを実現する新たなライフスタイルの実現やQOL(Quality of life)の向上。
 - 被介護者、介護者双方の心理的・身体的負担軽減。

インパクトアンケート調査結果では、社会的インパクトと国民生活へのインパクトが大きい(「大」および「中」)の回答は、それぞれ84%、92%)との回答が特徴的である。2025年の医療・福祉分野におけるロボット本体の市場規模は9,310億円と大きいにもかかわらず、経済的インパクトが大きいとの回答が少ない(大との回答は16%)。これは、インパクトの想定時期を2010年頃としたことと、社会的インパクト、国民生活へのインパクトが非常に大きいこと、相対的に小さく回答したことが考えられる。

(5) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見(参考)

① 全般的課題

- 「福祉」の基本は、「介護」ではなく「自立」と「社会参加」である。「福祉＝介護」のように福祉ロボットを考えているロボット研究者が多い。(学識経験者)
- 欧州では障害者、高齢者の自立を尊重している。一方、日本は介護する、守るという意識が強く、この意識が変わらない限り、日本で福祉ロボットが根付くのは難しい。(企業・マネージャー)
- 介護支援ロボットは、ハイテクでありマーケットも大きいロボットであるが、安全面等で課題が多く、市販化は当面難しい。しかし、これまでの福祉ロボットに対する研究者の研究開発対象の中心は、介護支援ロボットが殆どであった。(学識経験者)

- 今までの福祉ロボットの研究は、大学の研究室で健常者による実験が行われているだけで、ユーザー(障害者、高齢者)の評価がなかった。その証拠に全く市販化されなかった。(学識経験者)
- 福祉ロボット実現に向けて、本質的に解決困難な課題には殆ど手がついていない。研究者はやり易いところだけ研究をしており、進展がない。(学識経験者)
- 福祉ロボット(特に自立支援ロボット)はコストが高い。(学識経験者)
- 福祉ロボットの研究開発は、需要が小さいこと、販売チャネルが不足していること、福祉に対する認知度が低いことが、ネックとなっている。(企業・役員)
- 日本は成長国家から高齢者が多い福祉国家へ急激に変化しているが、制度面で遅れている。(企業・役員)
- 福祉ロボットの研究開発をする場合は、ロボット研究からではなく、福祉の視点から研究開発を実施して欲しい。ロボットや機械を開発できても、福祉の現場を知っていなければ意味がない。(企業・役員)
- ② **今後の研究開発・支援のあり方についての意見**
- 福祉ロボットに特化した研究予算公募はほとんど無かった。(学識経験者)
- 公的機関は資金を援助するだけでなく、福祉ロボットに対する製品評価基準を設けたうえで評価出来る機関として権威を持って欲しい。それにより公的機関のお墨付きを獲得することができる。(企業・役員)
- 福祉ロボットは、製造段階でユーザーの視点に立脚した「user interface」の視点が大切である。多機能のロボットを作ってもユーザーに受け入れられなければ意味がない。(企業・マネージャー)

1. 技術動向

(1) 福祉ロボットについて

・福祉ロボットとは、障害者や高齢者を対象に身体機能を補う手段として、直接物理的な作業をするロボットのことを示し、「自立支援ロボット」と「介護支援ロボット」に大別される。

・また、福祉ロボットではないが、福祉の向上に寄与するロボットとして「社会参加支援ロボット」「間接作業支援ロボット」「機能回復支援ロボット」「精神賦活支援ロボット」がある。

《福祉ロボット》

<自立支援ロボット>

障害者や高齢者が日常生活に必要な作業を自立して行うことを支援するロボット

【3大要素】 移動支援、食事支援、排泄支援

- ・食事支援 ・身支度支援 ・車椅子関連
- ・歩行支援 ・義肢義足 ・排泄支援
- ・自立用パワーアシスト 等

<介護支援ロボット>

障害者や高齢者の介護を支援するロボット

- ・食事搬送支援
- ・移乗支援
- ・入浴支援 等

《福祉の向上に寄与するロボット》

<社会参加支援ロボット>

就労や余暇活動など、日常生活の最低限の自立の上に、より高いQOL(Quality of Life)を実現する為のロボット

<間接作業支援ロボット>

間接的な介護作業を行うロボット(結果、人間が直接介護する時間が増え、福祉の向上に繋がる)

- ・掃除ロボット ・洗濯ロボット ・後片付けロボット 等

<機能回復支援ロボット>

リハビリ訓練を支援するロボット。医療ロボットと福祉ロボットの間中に位置する

- ・上下肢リハビリ支援 ・歩行訓練支援 等

<精神賦活支援ロボット>

癒し系ロボット。セラピー効果がある

7

1. 技術動向

(2) ロボットの分類 (参考)

《産業用ロボット》

<製造業分野>

- 溶接システム 塗装システム 研磨/バリ取りシステム
- 入出荷システム 作業支援 組み立てシステム

<非製造業分野>

- 農林業用ロボット 家畜ロボット

《非産業用ロボット》

<生活分野>

- 警備ロボット
- エンターテインメントロボット
- 多目的ロボット
- コミュニケーションロボット

- 社会参加支援ロボット
- 掃除ロボット (間接作業支援ロボット)

<医療・福祉分野>

医療ロボット

リハビリロボット (機能回復支援ロボット)

自立支援ロボット

介護支援ロボット

癒し系ロボット (精神賦活支援ロボット)

福祉
ロボット

<公共分野>

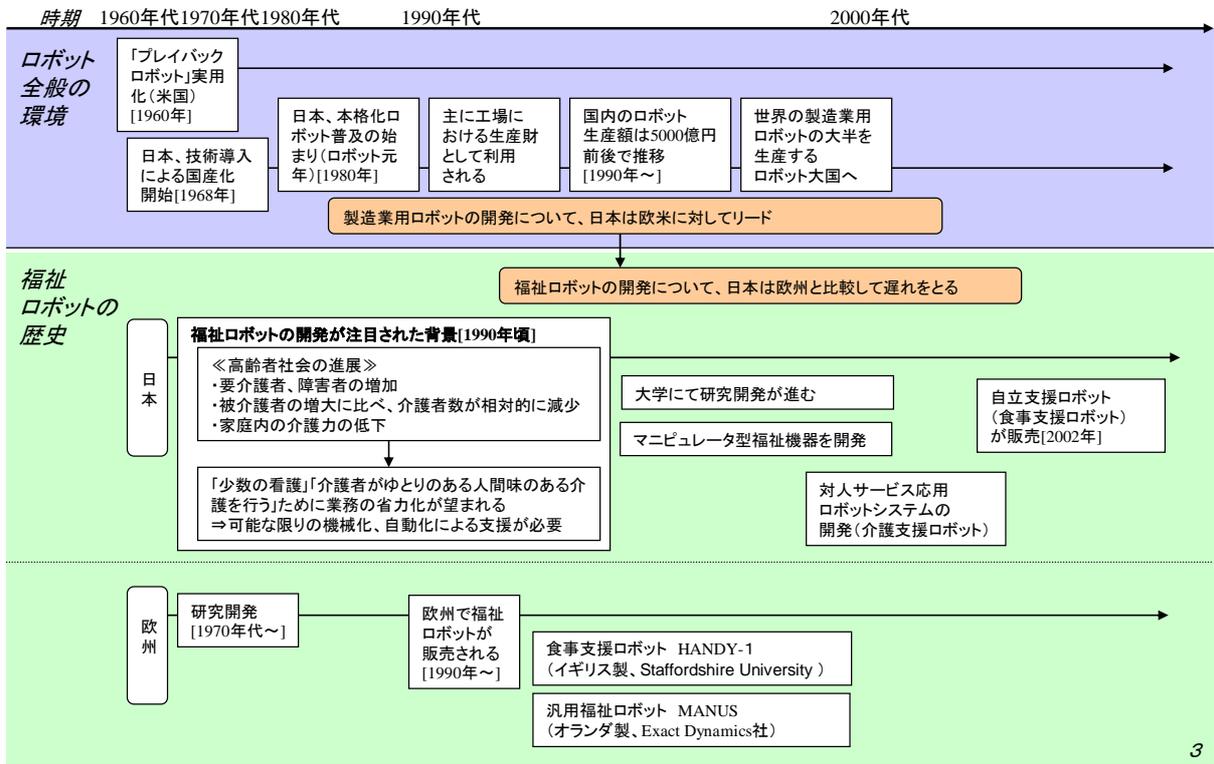
- 災害対応ロボット
- 探査ロボット
- 海洋ロボット
- 原子力ロボット
- 宇宙ロボット
- 建設ロボット

(出所)次世代ロボットビジョン懇談会 資料よりMRI作成

2

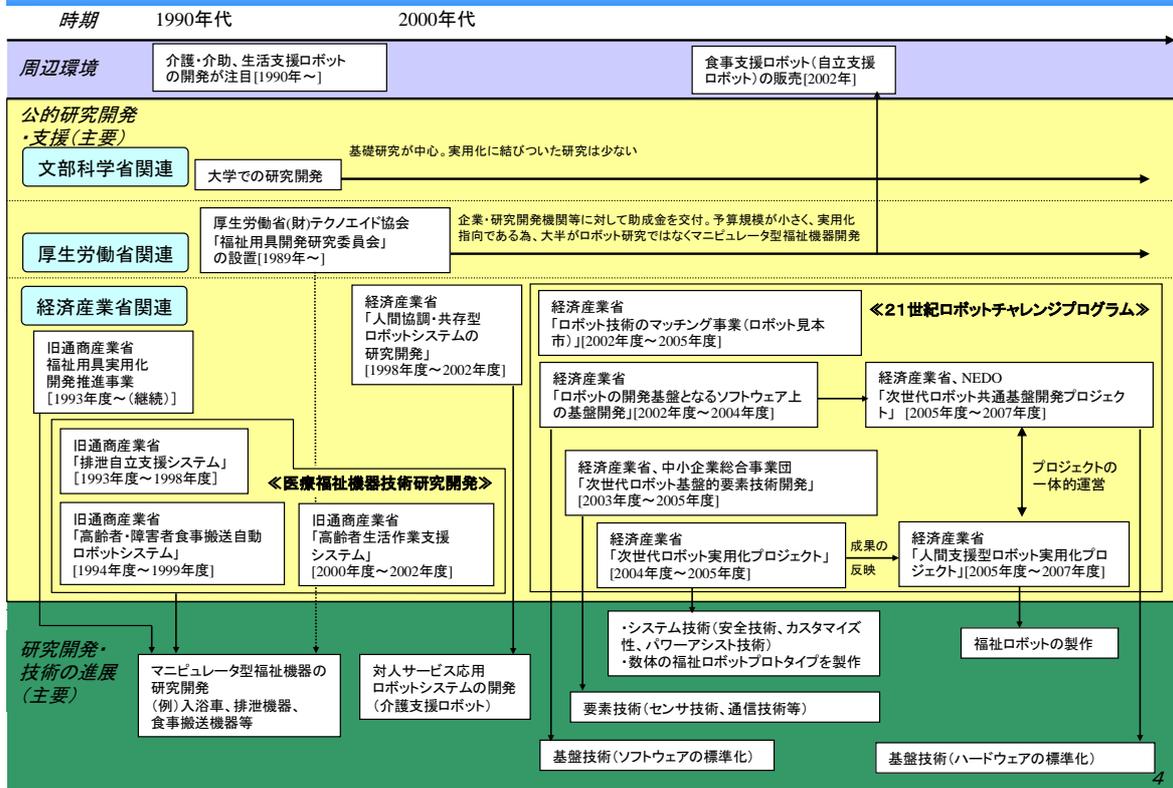
1. 技術動向

(3) 福祉ロボットの歴史



2. 公的研究開発・支援の位置付け

(1) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け



2. 公的研究開発・支援の位置付け

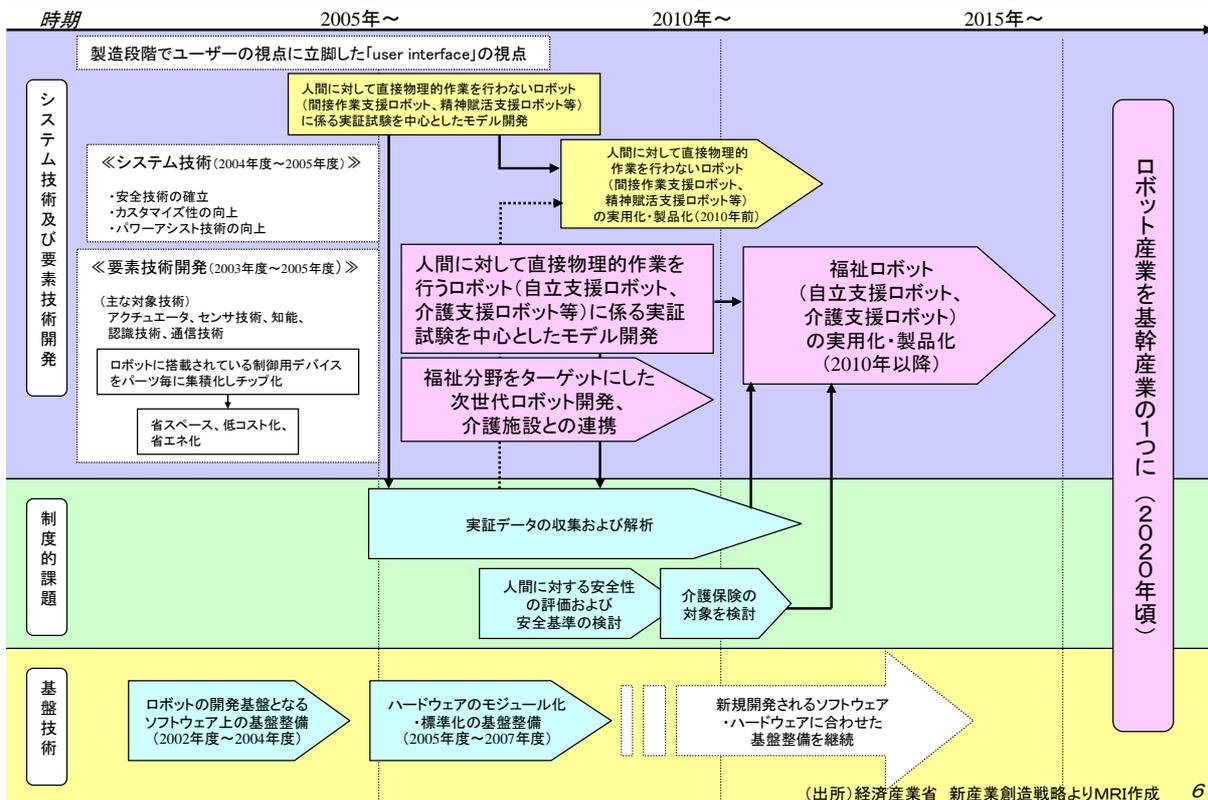
(2) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援(主要)の位置付け

公的研究開発・支援	委託大学・企業等	寄与の対象	寄与の形態・内容等(主要例)
厚生労働省、(財)テクノロイド協会 「福祉用具開発研究委員会」 [1989年 - (継続)]	セコム、東陶機器等、福祉機器メーカー等	高齢者・障害者の自立と介護者の負担軽減を目的として、福祉用具の研究開発を実施	入浴機器、移動機器、排泄機器等のマニピュレータ型福祉機器の研究開発、製品化。食事支援ロボット(自立支援ロボット)の製品化。
旧通商産業省(経済産業省)、NEDO 「医療福祉機器技術開発事業」 (排泄自立支援システム、高齢者・障害者 食事搬送自動ロボットシステム、高齢者生活 作業支援システム等)	日立、安川電機、富士通、シャープ等	高度かつ低コストの福祉技術の開発	入浴車、排泄機器、食事搬送機器等のマニピュレータ型福祉機器の研究開発
経済産業省、NEDO、産総研 「人間協調・共存型ロボット システムの研究開発」 [1998年度～2002年度] (2001年度は8.8億円)	東京大学、日立製作所、松下電工、他民間企業11社	対人サービス分野においてロボットの実用化の 為の研究開発を実施	対人サービス分野において、対人サービス応用ロボットシステムの研究開発(病院等での介護作業を ロボットが支援)を日立製作所、松下電工が実施
経済産業省 「ロボットの開発基盤となる ソフトウェア上の基盤整備」 [2002年度～2004年度] (2004年度は約0.8億円)	中小企業、ベンチャー企業	多様な主体の参入を促進するロボット用基盤ソフトウェア(ロボット用ミドルウェア)開発	ロボット要素をモジュール化して容易に統合・制御 することを可能とするソフトウェア上の技術基盤の 確立
経済産業省、中小企業総合事業団 「次世代ロボット基盤要素技術開発」 [2003年度～2005年度] (2004年度は約15.9億円)	中小企業	小型高出力・高耐久モータ技術の開発 力センサ及び圧力分布センサの小型化、高信頼性化、高耐久化技術の開発 高信頼性画像・音声認識技術の開発	アクチュエータ関連技術、センサ関連技術、画像認識関連技術、音声認識関連技術の開発及び次世代ロボットビジネス化に向けての技術の導入(予定)
経済産業省、NEDO 「次世代ロボット 実用化プロジェクト」 [2004年度～2005年度] (2004年度は31.3億円)	民間企業10社 大学・民間企業等64機関	実用システム化推進事業(実環境で十分機能 するための実用システム化技術開発及びシステム 評価としての実証試験の推進) プロトタイプ開発支援事業	掃除ロボット、警備ロボット、接客ロボット等、 間接作業支援ロボットについて研究開発を実施 ロボット関連技術の高度化と異業種間・産学官連携 の推進を図り、「日本発」のオリジナル技術の発掘 を行い、ロボットの幅広い普及のための課題を抽出。 数体の福祉ロボットプロトタイプを製作。「愛・地球博」 会場での試験運用(予定)
経済産業省、NEDO 「次世代ロボット 共通基盤開発プロジェクト」 [2005年度～2007年度] (総事業費21.6億円、2005年度7.2億円)	未定	モジュール化したロボット構成要素を自由に 組み合わせることによって様々な用途のロボット を効率的に開発できるよう、各ロボット構成要素 を繋ぐインターフェース部分(ハードウェア)の デバイスの開発	省スペース、低コスト、省エネ化が図られ、制御部 部品は体積で1/10以下、価格で1/10以下、消費電力 で1/5以下が期待される(予定)
経済産業省、NEDO 「人間型支援ロボット 実用化プロジェクト」 [2005年度～2007年度] (総事業費51.6億円、2005年度17.2億円)	未定	特定の環境下においてある程度継続的に人と接 触して、人の作業を支援する、または、人の作業 対象として扱うロボットの実用化に必要な技術 開発。開発するロボットは、医療・福祉分野 が対象。	医療・福祉分野のロボットプロトタイプを製作、 2010年を目途に実用化(予定)

5

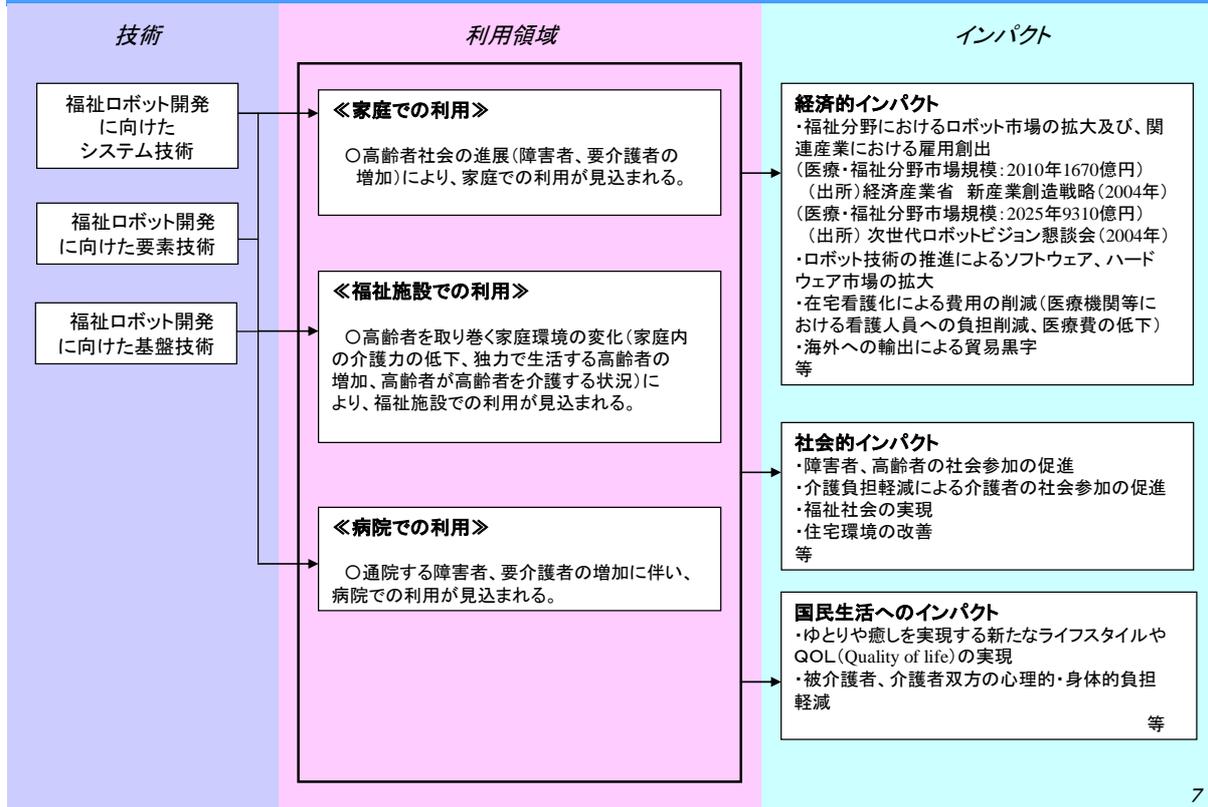
3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

(1) 福祉ロボット実現に向けた歴史的展開



6

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (2) 技術を起点とした各種インパクトと実現プロセス

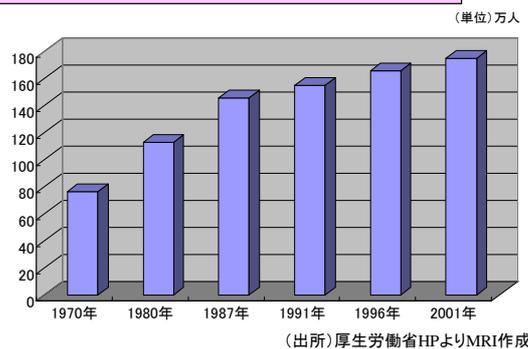


7

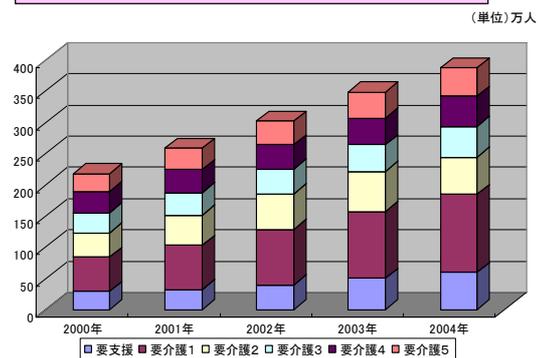
3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (3) 身体障害者数・要支援介護認定者数の推移

高齢者社会の進展により、身体障害者(肢体不自由者)数、要支援介護認定者数は年々増加傾向。2001年の身体障害者(肢体不自由者)数は175万人。2004年度の要介護高齢者数(要介護1～5)は327万人、寝たきり高齢者(要介護4～5)は93万人。

＜身体障害者(肢体不自由者)数の推移＞



＜要支援介護認定者数の推移＞



要支援	社会的支援を要する	食事・排せつ・衣類の着脱は概ね自立しているが、生活管理機能の低下などにより、時々支援を必要とする。
要介護1	部分的な介護を要する状態	食事・排せつ・衣類着脱MPIいずれも概ね自立しているが、一部介助支援を必要とする。
要介護2	軽度の介護を要する状態	食事・衣類着脱はなんとか自分でできるが排せつは介護者の一部の介助を必要とする。
要介護3	中等度の介護を要する状態	食事・衣類の着脱のいずれも介護者の一部に介助を必要とする。排せつには全面介助がある。
要介護4	重度の介護を要する状態	身体状態は様々であるが、食事・排せつ・衣類着脱のいずれにも介護者の全面的な介助を必要とする。尿意、便意が伝達されていない。
要介護5	最重度の介護を要する状態	寝返りをうつことができない寝たきり状態であり、意志の伝達が困難。食事・排せつ・衣類着脱のいずれにも介護者の全面的な介助を必要とする。

(出所)介護保険事業状況報告よりMRI作成

8

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (4) 医療・福祉ロボットの市場規模

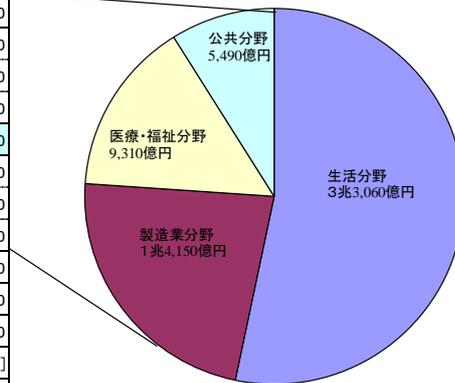
2025年におけるロボットの市場規模は、約8.5兆円。うち、医療・福祉分野におけるロボット本体の市場規模は9,310億円と試算される。

次世代ロボットの市場規模の試算結果(2025年時点)

(単位) 億円

区分	分野	ロボット利用の内容	市場規模
ロボット本体の市場	製造業分野	自動車、電機、その他製造業	14150
		生活分野	家事・在宅介護の労働代替
		家庭向け警備作業の代替	20
		エンターテインメント	400
	医療・福祉分野	施設における看護・介護の労働代替	9310
	公共分野	電気・鉄道・通信施設等の保全作業	5270
		事業所向け警備作業の代替	200
消防機関の設備の高度化		20	
副次的産業の市場市場	アプリケーション	ソフトウェア・付替え部品	22450
	教育事業	安全講習・技術講習	420
	中古品販売	ロボットの中古品販売	960
その他市場(注)	メンテナンス		[4010]
	損害保険		[760]

(注)ロボット本体市場の内数



(出所)次世代ロボットビジョン懇談会よりMRI作成

9

4. まとめ

- 福祉ロボットは、障害者や高齢者を対象に身体機能を補う手段として、直接物理的な作業をするロボットのことを示し、自立支援ロボットと介護支援ロボットに大別される。
- 1990年頃、高齢者社会の進展を背景に、日本において福祉ロボットの研究開発が注目された。しかし、福祉ロボットが実用化されたのは2000年代に入ってからであり、日本の福祉ロボット技術開発は、欧州と比較して遅れをとっている。
- 福祉機器に対する公的研究開発・支援は主に1990年代から実施されたが、その殆どがマニピュレータ型福祉機器であった。ロボットシステムに対する本格的な公的研究開発・支援は1990年代終盤になってからである。ロボット開発のベースとなるシステム技術、要素技術、基盤技術において、大学および民間への研究開発資金提供、産学連携による研究開発等により、当該技術の進展に寄与したとみられる。
- 1990年代に大学で実施された福祉ロボット研究開発は、その殆どが介護支援ロボットであった。介護支援ロボットは、ハイテクでありマーケットも大きいロボットである一方、安全面で課題が多く当面の実用化は困難である。結果、1990年代には福祉ロボットは、殆ど実用化・製品化されなかった。
- マニピュレータ型福祉機器に近い福祉ロボットは2000年代に入り、一部実現している。しかし、本格的な福祉ロボットの実現は2010年以降と想定される。インパクトとしては、福祉分野におけるロボット市場の拡大及び関連産業における雇用創出(2025年の医療・福祉分野市場規模9,310億円)、在宅看護化による費用削減等(経済的インパクト)および、障害者・高齢者の社会参加の促進、福祉社会の実現等(社会的インパクト)がある。国民生活へのインパクトとしては、ゆとりや癒しを実現する新たなライフスタイルやQOL(Quality of life)の実現、被介護者・介護者双方の心理的・身体的負担軽減等がある。

10

4. まとめ

(参考) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

① 全般的課題

- 「福祉」の基本は、「介護」ではなく「自立」と「社会参加」である。「福祉＝介護」のように福祉ロボットを考えているロボット研究者が多い。(学識経験者)
- 欧州では障害者、高齢者の自立を尊重している。一方、日本は介護する、守るという意識が強く、この意識が変わらない限り、日本で福祉ロボットが根付くのは難しい。(企業・マネージャー)
- 介護支援ロボットは、ハイテクでありマーケットも大きいロボットであるが、安全面等で課題が多く、市販化は当面難しい。しかし、これまでの福祉ロボットに対する研究者の研究開発対象の中心は、介護支援ロボットが殆どであった。(学識経験者)
- 今までの福祉ロボットの研究は、大学の研究室で健常者による実験が行われているだけで、ユーザー(障害者、高齢者)の評価がなかった。その証拠に全く市販化されなかった。(学識経験者)
- 福祉ロボット実現に向けて、本質的に解決困難な課題には殆ど手がついていない。研究者はやり易いところだけ研究をしており、進展がない。(学識経験者)
- 福祉ロボット(特に自立支援ロボット)はコストが高い。(学識経験者)
- 福祉ロボットの研究開発は、需要が小さいこと、販売チャンネルが不足していること、福祉に対する認知度が低いことが、ネックとなっている。(企業・役員)
- 日本は成長国家から高齢者が多い福祉国家へ急激に変化しているが、制度面で遅れている。(企業・役員)
- 福祉ロボットの研究開発をする場合は、ロボット研究からではなく、福祉の視点から研究開発を実施して欲しい。ロボットや機械を開発できても、福祉の現場を知っていなければ意味がない。(企業・役員)

② 今後の研究開発・支援のあり方についての意見

- 福祉ロボットに特化した研究予算公募はほとんど無かった。(学識経験者)
- 公的機関は資金を援助するだけでなく、福祉ロボットに対する製品評価基準を設けたうえで評価出来る機関として権威を持って欲しい。それにより公的機関のお墨付きを獲得することができる。(企業・役員)
- 福祉ロボットは、製造段階でユーザーの視点に立脚した「user interface」の視点が大切である。多機能のロボットを作ってもユーザーに受け入れられなければ意味がない。(企業・マネージャー)

3-13 地震検知全国ネットワークによる地震到達前防災システム(社会基盤)

(1) 事例分析に当たって

① 対象とした技術の概要

本事例分析では、当該技術を以下のように捉え、調査・分析の対象とした。

- P 波による地震検知とリアルタイム(S 波到達前)震源情報伝送(震源位置とマグニチュードの算出等)。
- 上記情報を活用した防災応用システム(火災防止・避難のためのライフラインやビル設備等の自動制御、事前・早期防災行動のためのアラーム・表示システム等)。

② 調査方法および対象

本事例調査では、当該技術に関する有識者等へのヒアリング調査を主とし、さらに文献調査・統計データ分析を実施した。

ヒアリング調査の対象を以下に示す。

- 学識経験者(東京大学地震研究所教授、東洋大学工学部環境建設学科教授)2名
- 関連団体(リアルタイム地震情報利用協議会、電子情報技術産業協会)3名
- 企業(保険会社)1名

(2) 技術動向

基盤となる技術として、地震計(強震計)の技術が戦前から民間主体で開発されて来たが、これは当初の加速度計だけのものから、加速度計に加えて速度計を備えたものに改良されている。

1970 年代に、先駆的な原理(論文ベース)として、P 波と S 波の到達時間の差を利用した「10 秒前検知システム」が提唱され、この原理を応用して、旧国鉄・JR による早期地震検知・警報システム、ユレダス等が新幹線等で稼動して来た。1995 年以降、阪神・淡路地震を契機として、全国的な Hi-net、K-NET 等の地震計整備が加速され、2001 年以降、これらのネットワーク化が加速した。このネットワーク化にあたっては、1980 年代以降のコンピュータ技術の発達を背景とした複数データの高速処理技術および 1990 年代以降の衛星によるデータ転送技術とデジタル通信技術(パケット等)が活用された。このネットワークを用いて、災害の原因となる S 波の到達前(数～数十秒前)に検知される情報(P 波)から、地震情報(地震の規模や位置、各地の震度等)を解析・判断・伝達するリアルタイム地震情報システムが開発され、2004 年より試験運用に至っている。このようなシステムや技術は日本が世界をリードしている。さらに、リアルタイム地震情報を防災に活用するため応用システムの研究・開発が 11 分野(家庭における情報家電の活用、消防署、学校、ビル・エレベータ等)で進められており、一部(自治体、学校、保険会社等)では試験的な導入・運用がなされている。また、情報家電等による応用システムの技術も日本が世界をリードしている。

(3) 公的研究開発・支援の位置付け

当該技術開発に寄与があったと指摘された公的研究開発・支援について、主なものを以下に示す。

(大学や公的研究機関における基礎研究の継続・蓄積)

- 大学・公的研究機関等における基礎研究としての地震学研究(地震予知計画(約 35 年継続)等)は、地震解析・判断技術や衛星利用等による観測データ収集システムの開発の際に、ソフト開発や要素技術開発、人材育成の観点で寄与した。

(産学官連携によるナショナルプロジェクト)

- リアルタイム地震情報の利活用の実証的調査・研究(リーディングプロジェクト)(文部科学省、2002～)では、大学・研究所・行政機関・関連メーカーからなるワーキンググループにより、11 分野において技術検討、プロトタイプ評価、普及にむけての標準化検討およびモデルによる実証試験がなされている。また、官民連携がメーカーの応用分野におけるプロトタイプシステムの開発(情報家電等)に寄与している。この官民連携に際しては、防災科学技術研究所が主導的役割を果たした。

(民間で実施される応用・実用化研究への資金提供)

- 住宅分野情報システム共通基盤整備推進事業(経済産業省、1999～2001)では、家庭内にネットワークが普及した際の技術課題検討を踏まえたモデル化および実証モデルハウス(ITハウス)構築が行われた。

(通信・計測インフラ整備)

- Hi-net、K-net、衛星利用データ転送・集約システム等の研究インフラとしての整備(文部科学省・気象庁・国土交通省・自治体等)や気象庁・国土交通省・自治体等による地震観測網整備によって、地震観測網およびデータ集約システムの施設整備がなされた。

(基盤技術の開発)

- 高度即時的地震情報伝達網実用化(リーディングプロジェクト)(文部科学省、2002～)では、地震解析のための震源情報の算出およびデータ配信に関する技術開発等がなされた。

インパクトアンケート調査結果では、公的研究開発・支援の寄与度合いは、「大」と「中」の合計が回答者の約90%弱と非常に大きい。

(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

当該技術は、サイエンスでの利用のほか、産業、非産業分野および個人・家庭でも利用が期待される。産業分野での利用としては、発電所・工場・プラント等での防災システムや一般企業・事業所における避難・防災初動体制確立等が期待される。非産業分野では、消防署、医療関係、学校等の行政機関における安全確保や防災体制確立、鉄道・高速道路等の交通システム、ビル等のエレベータ、社会・都市基盤での安全確保・自動停止・警告等の地震被害未然防止等が期待される。さらに、個人・家庭での利用としては、情報家電等による自動防災システム(地震警告、避難誘導灯、通電火災防止、避難扉の自動開錠・開扉、LPG自動遮断)やIP電話(緊急情報を遅延少なく配信等)などが期待される。これらの各分野での利用を通じて、当該技術は以下のインパクトの実現が期待される。

- 経済的インパクト
 - 地震被害の縮小(火災防止が主)。
 - － 関東大震災規模の地震による火災被害が約30兆円との試算
 - 当該システムに対応する機器の売上。
 - － 情報家電等、当面の市場総計約1000億円
 - 損害保険会社における業務改善。
- 社会的インパクト
 - 都市の地震に対する安全度向上(火災防止、都市機能の早期復旧)。
 - 交通システム(鉄道、高速道路等)の地震に対する安全度向上(鉄道は実現)。
 - ビルの耐震性検証(高精度地震計導入による間接効果:当該効果は一部実現)。
- 国民生活へのインパクト
 - 地震に対する安全・安心向上(人命損失・負傷の防止)。
 - 地震情報システムを活用した訓練・教育による地震防災意識等向上。

インパクトアンケート調査結果では、社会および国民生活へのインパクトが大きいと見られる(「大」および「中」との回答が約80%弱)。

(5) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見(参考)

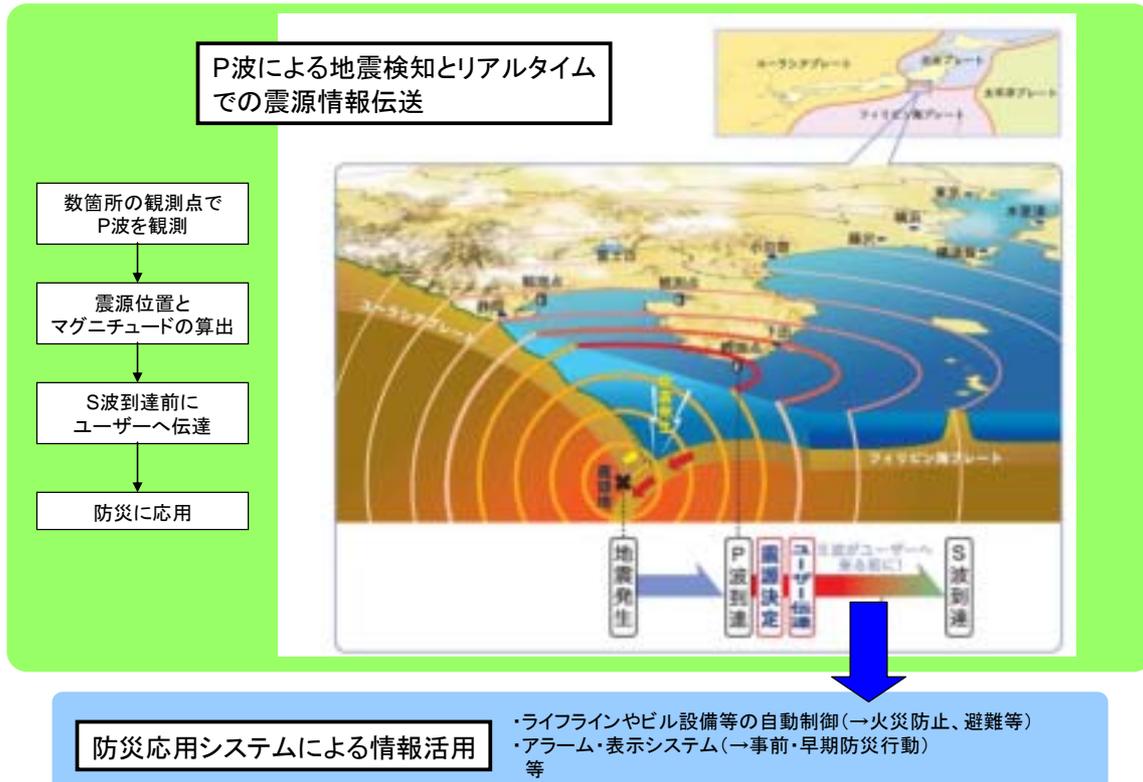
① 全般的課題

- 海底への地震観測網の拡張が必要である。地震の約70%が海底で発生しているが、地震計は1%しか設置されていない。現状技術では理想である30kmメッシュでの設置を実現するには約300億円が必要と見られており、低コスト化が必要となる。(学識経験者、関係団体・役員)
- 設置された地震計網のメンテナンスが課題である(人的能力の確保、予算確保等)。(学識経験者)
- 現在の観測網は研究用が主であり、実用化に向けたネットワークへの改良が必要である。(関係団体・役員)

- 情報誤差への対応が必要である(多くの施設をネットワーク化すると、誤情報による膨大な機能麻痺が生じる可能性あり)。誤情報には必然的に発生するものと(現在、信頼性は約 97%、誤差ゼロは困難)、人為的なもの(ハッカー侵入等)がある。後者に対しては、ネットワークセキュリティの確保が必要。また、普及のためには誤差を容認する何らかの社会的な仕組が必要である。(学識経験者、保険会社・マネージャー、関係団体・研究者)
 - 多数のユーザーに一斉に確実なデータを送る情報配信技術の開発が必要である。誤情報の排除を考えると、インターネットは不安定なため、不特定多数への放送型ではなく、特定ユーザーとの契約方式が望ましい。(関係団体・役員、保険会社・マネージャー)
 - プロトタイプは成功したが社会への普及が課題である。経済原則による民間ベースでの普及には限度があり、木造住宅密集地の防災対策促進等を考慮すると、同技術による防災システムを社会基盤として位置付け、導入のための公的支援を行うことも検討すべき。(関係団体・役員、保険会社・マネージャー)
 - 普及のためには、効果と必要性を多くの人に認識してもらおう(このために、公共機関や電気・ガス・交通等の公益的な分野から導入を先行し、一般の国民や企業に PR することが望ましい。)また、効果発現のためには震災時の避難行動等の教育・訓練(モデル地域での実験等)が必要である。(関係団体・役員、保険会社・マネージャー)
- ② 今後の研究開発・支援のあり方についての意見**
- 応用段階の研究開発や導入は、民間主導で進めてゆくべきである。(学識経験者)
 - 海底における地震観測網の低コスト化に向けて、高価なケーブルやコネクタを使わない技術が求められる(トランスポンダー装置が有望か)。(関係団体・役員)
 - 地震だけでなく、他の災害情報とも組み合わせた総合的なシステム化が望ましい。(学識経験者)
 - より幅広い普及のため、他の情報と組み合わせたシステム化もありえる。(関係団体・研究者)
 - 理学(地震学)と工学(防災応用)、および社会科学的アプローチ(震災時行動等)等の分野間連携が十分でなく、これらの分野を超えた総合化研究が必要である。(学識経験者)

1. 技術動向

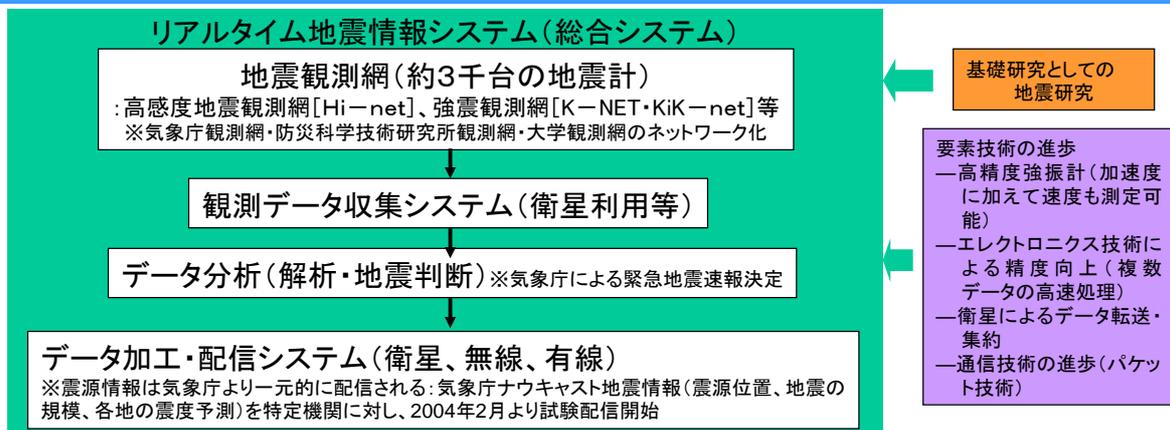
(1) 技術概念 (地震検知とリアルタイム情報の防災活用)



7

1. 技術動向

(2) 技術の構成と進展状況



※90年代前半では気象庁が検知に約10秒→2000年には防災科学技術研究所(防災科研)で約3秒と短縮
 ※日本は全国ネットの地震観測システムで、世界をリード(台湾、米国、イタリアが追従)

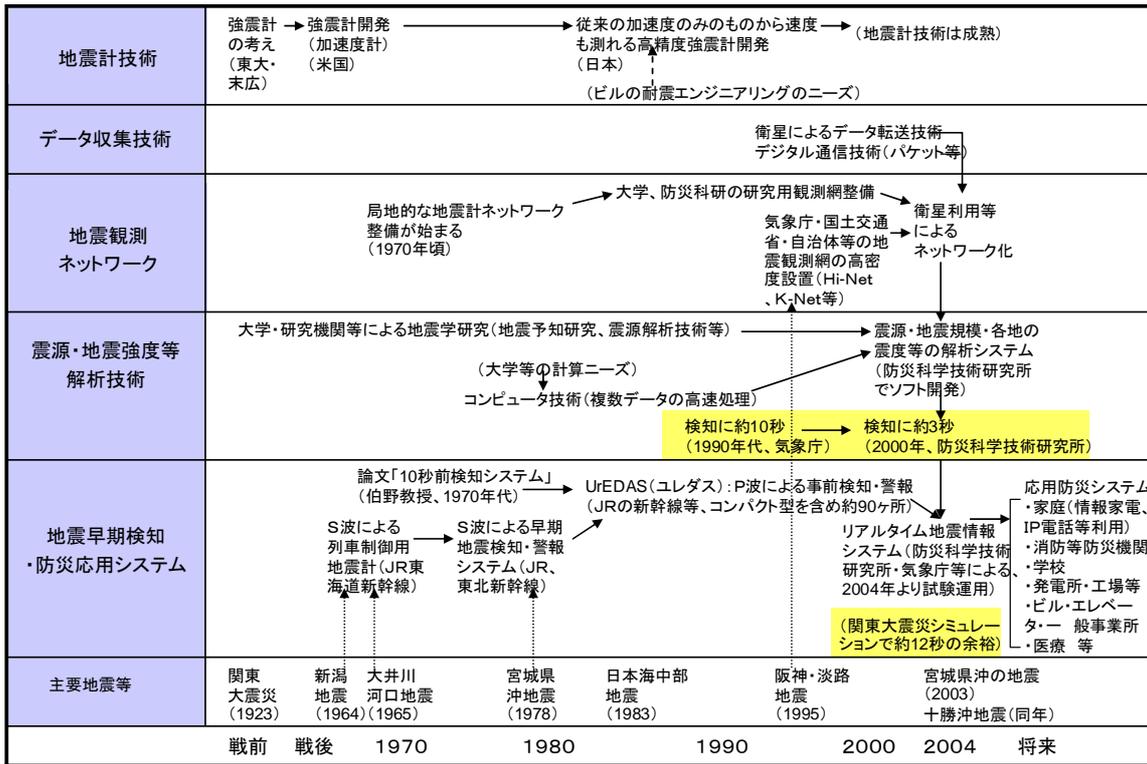
利用分野における防災・応用システム(11分野で研究開発中)

- ・各家庭における自動防災システム(情報家電およびIP電話による)
- ・消防署における消防初動体制支援システム
- ・医療関係者への災害時広域医療救護活動システム
- ・防災現場関係者への専用防災無線システム
- ・学童・学校職員への緊急地震速報を用いた防災教育支援システム
- ・発電所・工場・プラント向け防災システム
- ・既設ダムに向けた即時被害予測と警報システム
- ・特定利用者への公衆移動通信を活用した通信システムおよび屋外作業員および屋外レジャー用地震情報提供携帯移動端末
- ・緊急地震速報を活用したエレベータ自動制御装置、緊急地震速報と連動したビル設備の中央集中監視装置
- ・緊急地震速報活用のためのFM文字多重チューナーシステム
- ・緊急地震速報と連動した家庭内LPガス自動遮断システム

2

1. 技術動向

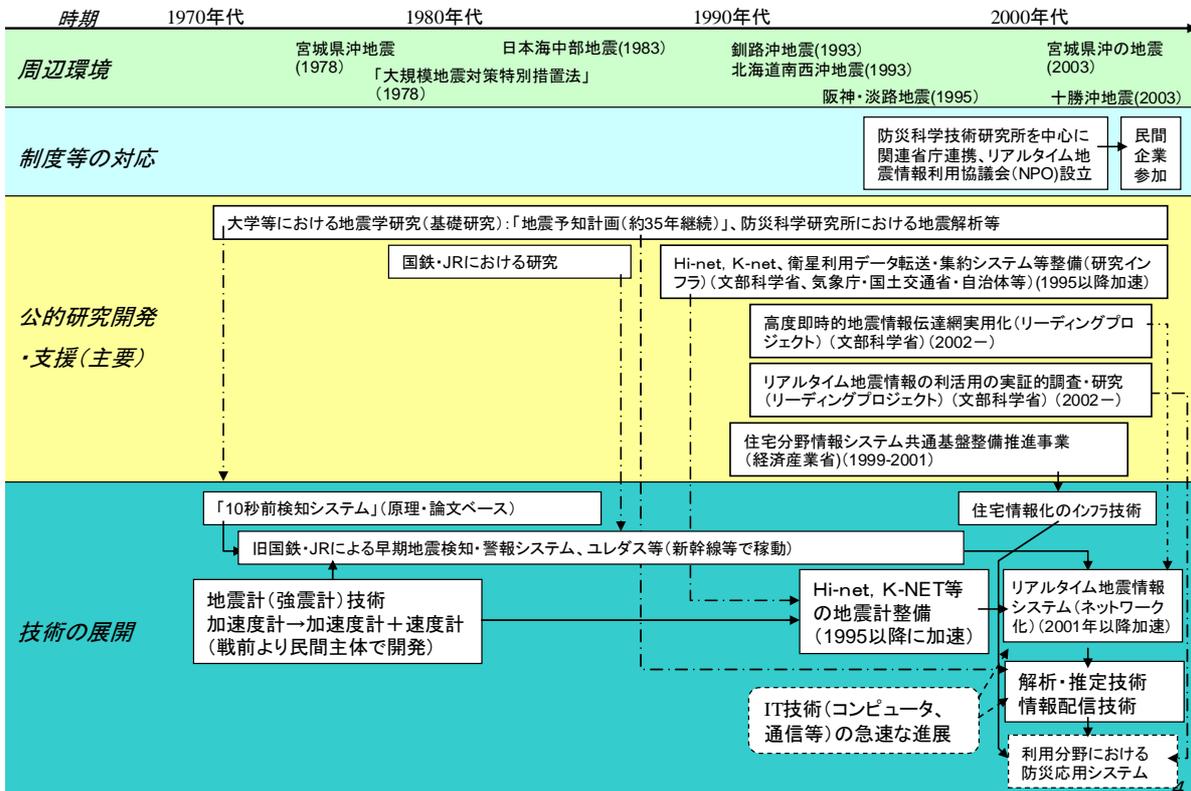
(3) 関連技術の歴史的な流れ



3

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(1) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け



2. 公的研究開発・支援の位置付け

(2) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け

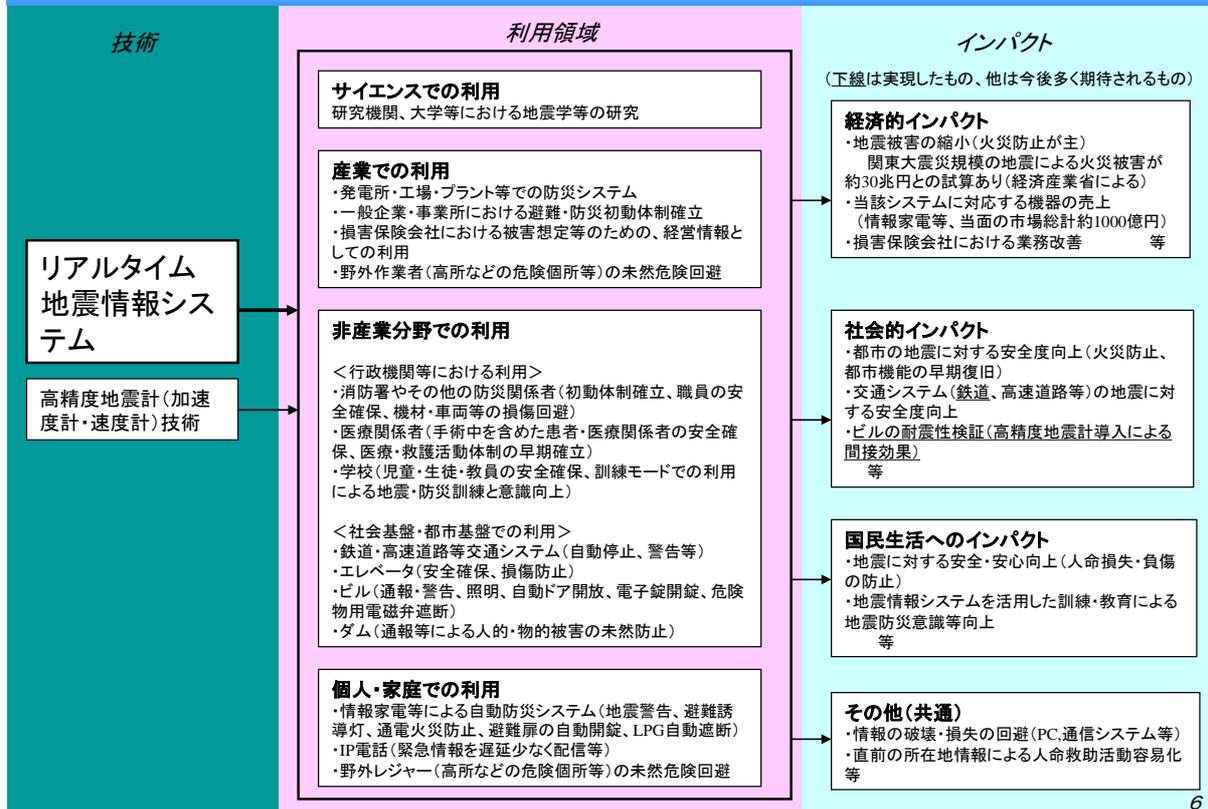
リアルタイム地震情報システムはほとんど公的投資による。(公的投資がなければ当該技術・システムは実現しなかった)
 応用による防災システムは民間主導(特に情報家電等)であるが、官民共同による分野別活用プロトタイプの開発がなされている。

公的研究開発・支援	寄与の対象	寄与の形態・内容等(主要例)	
		資金提供以外による寄与	メーカーへの資金提供による寄与
大学・公的研究機関等における地震学研究(基礎研究):「地震予知計画(約35年継続)」等(2002-2003で約6.5億円)	地震解析技術	・防災科学研究所における地震解析ソフトおよび高速データ取得技術 ・人材育成効果(ポスドク受入等)	
	観測データ収集システム(衛星利用等)	・衛星によるデータ転送技術	
Hi-net, K-net, 衛星利用データ転送・集約システム等整備(研究インフラ)(文部科学省・気象庁・国土交通省・自治体等)	地震観測網およびデータ集約システム	左記の施設整備	
気象庁・国土交通省・自治体等の地震観測網整備	地震観測網およびデータ集約システム	左記の施設整備	
高度即時的地震情報伝達網実用化(リーディングプロジェクト)(文部科学省)(2002-、2002は2億円)	地震解析技術およびデータ加工・配信システム	・震源情報の算出およびデータ配信技術(防災科学技術研究所、東京大学および気象庁により研究開発) ・リアルタイム地震情報をもたらす社会への影響度調査(気象協会)	
リアルタイム地震情報の利活用の実証的調査・研究(リーディングプロジェクト)(文部科学省)(2002-)	11分野における応用・実用化システム	・大学・研究所・行政機関・関連メーカーからなるワーキンググループによる技術検討、プロトタイプ評価、普及にむけての標準化検討(産官学連携) ・モデルによる実証試験	・応用分野におけるプロトタイプシステムの開発(情報家電等)
住宅分野情報システム共通基盤整備推進事業(経済産業省)(1999-2001、約12億円)	住宅情報化のインフラ技術		・家庭内ネットワーク化普及の技術課題検討を踏まえたモデル化 ・実証モデルハウス(ITハウス)構築

5

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

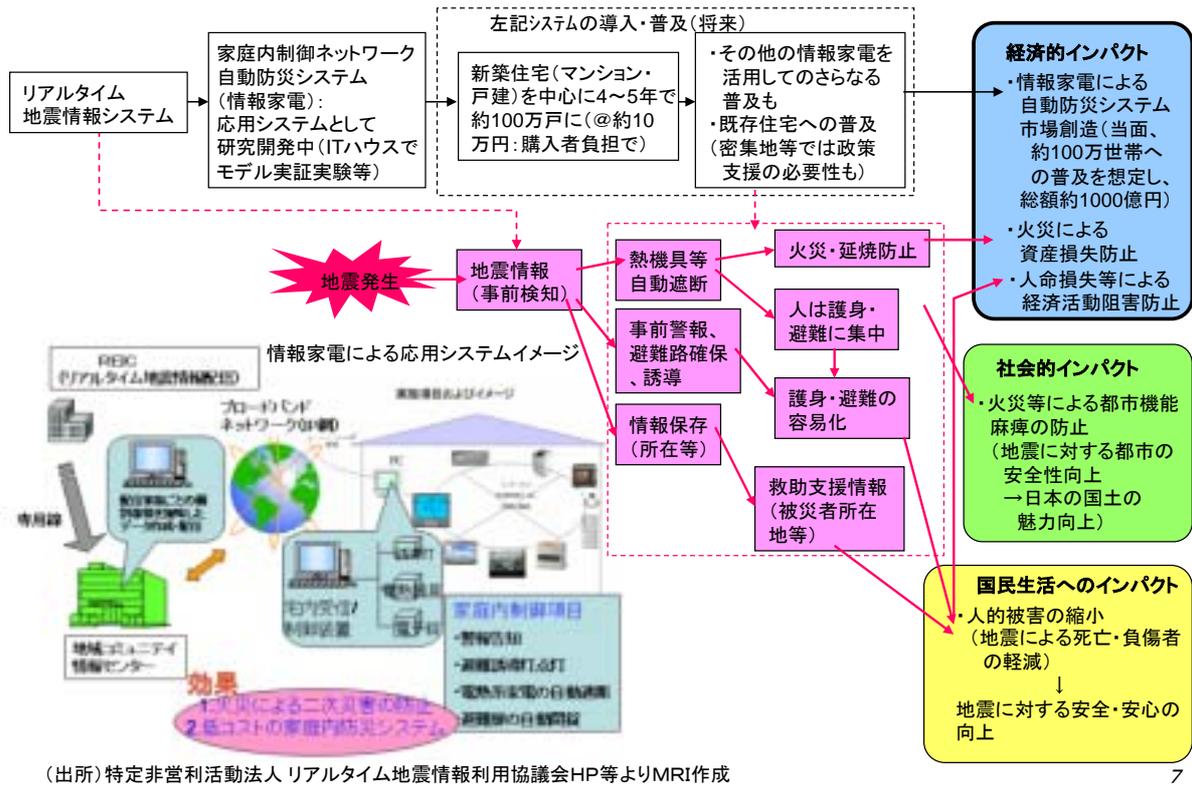
(1) 技術を起点とした各種インパクトと実現プロセス



6

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

(2) 当該技術の利用とインパクト実現プロセス(情報家電による防災システムの例)



7

4. まとめ

- 全国的に地震観測網が整備され、これにより災害の原因となるS波が到達前(数~数十秒前)に、検知される情報(P波)から、地震情報(地震の規模や位置、各地の震度等)を解析・判断・伝達するリアルタイム地震情報システムが開発され、試験運用に至っている。このようなシステムや技術は日本が世界をリードしている。
- リアルタイム地震情報を防災に活用するための応用システムの研究・開発が11分野(家庭における情報家電の活用、消防署、学校、ビル・エレベータ等)で進められており、一部(自治体、学校、保険会社等)では試験的な導入・運用がなされている。また、情報家電等による応用システムの技術も日本が世界をリードしている。
- リアルタイム地震情報システムはほとんど公的投資によるものである。(公的投資がなければ当該技術・システムは実現は困難であったとみられる。)
 - ・大学や公的研究機関による地震学研究等の地道な基礎研究の継続・蓄積が地震解析・判断等の技術に寄与した。
 - ・全国数千におよぶ地震計による観測網は、防災科学技術研究所による国土全域に渡るHi-net等の地震研究インフラの整備が大きく寄与している。これは公的研究開発支援形態としての着実な施設整備の寄与を示すとともに、防災科学技術研究所主導により、従来縦割りであった関連省庁連携のネットワーク化に効果があった。
 - ・応用による防災システムは民間主導(特に情報家電等)であるが、官民共同による分野別利活用プロトタイプの開発がなされている。(この官民連携に際しても、防災科学技術研究所が主導的役割を果たした。)
- インパクト実現には、社会への普及が課題である。同技術による防災システムを社会基盤として位置付け、導入にむけた公共機関や公益的な分野からの先行導入を通じて効果と必要性を多くの人に認識してもらう必要がある。また、震災時の非難行動等の教育・訓練も必要である。
- 当該技術は社会のインフラとなる技術として経済・社会および国民生活に幅広いインパクトを有している。インパクトとしては地震防災における人命損失・負傷の防止による国民生活の安全・安心向上、および都市の火災防止や交通システムの地震安全性向上等の社会的効果が特に大きい。経済的効果としては、火災や人的被害を通じた地震による経済的被害縮小効果が主であり、さらに情報家電等も含めた当該システム関連機器の市場も、家庭への導入・普及により、かなりの規模が見込まれる。

8

4.まとめ

(参考)指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

①全般的課題

- 海底への地震観測網の拡張画必要である。地震の約70%が海底で発生しているが、地震計は1%しか設置されていない。現状技術では理想である30kmメッシュを実現するには約300億円が必要と見られており、低コスト化が必要である。(学識経験者、関係団体・役員)
- 設置された地震計網のメンテナンスが課題である(人的能力の確保、予算確保等)(学識経験者)
- 現在の観測網は研究用が主であり、実用化に向けたネットワークへの改良が必要である。(関係団体・役員)
- 情報誤差への対応が必要である(多くの施設をネットワーク化すると、誤情報による膨大な機能麻痺が生じる可能性あり)。誤情報には必然的に発生するものと(現在、信頼性は約97%、誤差ゼロは困難)、人為的なもの(ハッカー侵入等)がある。後者に対しては、ネットワークセキュリティの確保が必要である。また、普及のためには誤差を容認する何らかの社会的な仕組みが必要である。(学識経験者、保険会社・マネージャー、関係団体・研究者)
- 多数のユーザーに一齐に確実なデータを送る情報配信技術の開発が必要である。(誤情報の排除を考えると、インターネットは不安定であり、また不特定多数への放送型ではなく、特定ユーザーとの契約方式が望ましい。(関係団体・役員、保険会社・マネージャー)
- プロトタイプは成功したが社会への普及が課題である。経済原則による民間ベースでの普及には限度があり、木造住宅密集地の防災対策促進等を考慮すると、同技術による防災システムを社会基盤として位置付け、導入のための公的支援も検討する必要がある。(関係団体・役員、保険会社・マネージャー)
- 普及のためには、効果と必要性を多くの人に認識してもらう(このために、公共機関や電気・ガス・交通等の公益的な分野から導入を先行し、一般の国民や企業にPRすることが望ましい。)また、効果発現のためには震災時の避難行動等の教育・訓練(モデル地域での実験等)が必要である。(関係団体・役員、保険会社・マネージャー)

②今後の研究開発・支援のあり方についての意見

- 応用段階の研究開発や導入は、民間主導で進めてゆくべきである。(学識経験者)
- 海底における地震観測網の低コスト化にむけて、高価なケーブルやコネクタを使わない技術が求められる(トランスポンダー装置が有望か)。(関係団体・役員)
- 地震だけでなく、他の災害情報とも組み合わせた総合的なシステム化が望ましい。(学識経験者)
- より幅広い普及のため、他の情報と組み合わせたシステム化もありえる。(関係団体・研究者)
- 理学(地震学)と工学(防災応用)、および社会科学的アプローチ(震災時行動等)等の分野間連携が十分でなく、これらの分野を超えた総合化研究が必要である。(学識経験者)

3-14 難分解性物質等を含む排水の高効率生物処理システム(社会基盤)

(1) 事例分析に当たって

① 対象とした技術の概要

本事例分析では、当該技術を以下のように捉え、調査分析の対象とした。

- 排水の生物処理には細菌や菌類等の微生物や、微生物以外の植物等が利用されるが、比較的コンパクトな処理システムでは主として微生物が用いられる。
- 高効率微生物処理のポイントは、1) 微生物を高密度に保持すること、2) 排水中の汚濁物質を高濃度に保持することである。
- 1)は微生物を固体表面に付着させる等の方法(微生物担体技術)によって、2)は高分子分離膜による分離技術(膜分離技術)によって実現される。
- 微生物担体技術、膜分離技術を調査・分析の対象とした。

② 調査方法および対象

本事例調査では、当該技術に関する有識者等へのヒアリング調査を主とし、さらに文献調査・統計データ分析を実施した。

ヒアリング調査の対象を以下に示す。

- 学識経験者(横浜国立大学大学院教授、北海道大学助教授)2名
- 企業(環境ベンチャー・マネジャー、水処理メーカー・マネージャー、プラントメーカー・マネージャー)3名

(2) 技術動向

生物処理技術は、排水規制等の環境規制と密接な関連を持って発展してきた。微生物分解は古くから、BODの分解に利用されてきている。一方、環境問題への対応から、1979年にはCOD総量規制(水質汚濁防止法・第一次水質総量規制)が導入され、2001年には窒素およびリンが規制対象に加わった(同・第五次)。さらに、近年は難分解性の有機汚染物質(内分泌かく乱物質、PCB、ダイオキシン等)への対応が強く求められるようになった。他方、生物処理技術はこのような社会的、法的な要請に対応し、BOD、COD、窒素・リン、そして、難分解性の有機汚染物質と処理対象を拡大している。

しかし、生物処理における大きな課題は、高効率化・処理速度の向上である。難分解性物質のほとんどは微生物分解可能ではあるが、微生物の増殖速度が遅い、微生物の密度が低い、高濃度排水を処理しにくい、という問題があり、高効率処理を妨げていた。

現在までの技術動向として、微生物の高密度保持については、固体表面やゲル内部に高密度に微生物を繁殖・保持する方法(固定化)、あるいは、微生物を粒径2-5mm程度の粒(グラニュール)に自己造粒化させる方法(UASB法等)が開発されている。また、処理濃度の高濃度化については、処理の過程で生じる汚泥(主に微生物の死骸)の分離(固液分離)に膜分離技術を用いて、従来の沈澱分離では困難だった高濃度処理(および沈澱池省略によるコンパクト化)が可能になってきている。

さらに将来の動向としては、水の再利用が広がるにつれ水循環の環に入る汚染物質低減が重要になると考え、これに対応するため、家庭排水や農業排水等を処理する分散型のコンパクトな排水処理装置の開発を進める動きがある。このような分散型装置においては個々の家庭ユーザー等に高度な運転技術を要求することはできないので、バイオセンサ技術等モニタリング技術とネットワーク技術して装置を遠隔管理する、メンテナンスフリーのシステムが開発されると考えられている。

(3) 公的研究開発・支援の位置付け

難分解性物質等を含む排水の高効率生物処理システムに対する主要な公的研究開発・支援を以下に示す。

(大学や公的研究機関における基礎研究の継続・蓄積)

- 1985年度～1989年度の期間に実施された、旧建設省の「バイオテクノロジーを活用した新排水システム」

プロジェクト(通称:バイオフォーカス WT)では、微生物固定化担体の開発を中心に、バイオセンサの開発、有用微生物の分離培養、有機物除去バイオリアクターの開発が行われた。

(実証試験)

- 環境省の「環境技術実証モデル事業」では、2003年度および2004年度に、小規模事業場向け有機性排水処理技術(日排水量50m³以下程度の厨房を想定した生物学的/物理化学的処理技術)および、山岳トイレ技術(インフラ未整備地域で、公衆トイレのし尿を生物/化学/物理的に処理する非放流式装置)を対象に、都道府県/政令指定都市を実証機関とする実証モデル事業を行っている。

(基盤技術の開発)

- 1985年度～1990年度に実施された、旧通商産業省の「水総合再生利用システム」プロジェクト(通称:アクトルネサンス'90)では、分離膜を組み込んだ高濃度バイオリアクター開発を中心に、微生物の研究開発、膜素材の研究開発、メタン発酵用膜モジュールの開発などが行われた。
- 2002年度～2006年度に実施されている、経済産業省/NEDOの「生分解・処理メカニズムの解析と制御技術の開発」プロジェクト(通称:生分解プロジェクト)では、メタン発酵プロセスの高効率化・安定化に必要な技術の開発、生分解を目的とした嫌気性微生物の機能解明、育種等基盤技術の開発が行われている。

(規制の導入・調達)

- 排水処理技術は、排水規制等の法規制等強化に対応して進歩した。また、下水道関連の排水処理開発においては、規制強化に対応した公共調達が開発を促進した。

インパクトアンケート調査結果では、当該技術に対する公的研究開発・支援の寄与度合いが「大」もしくは「中」と回答した割合は66%と、社会基盤分野の平均(63%)と比較してわずかに大きい。また、応用段階での研究開発支援の寄与が比較的大きく、公的研究開発と民間への資金がバランスよく寄与しているとされる。今後の公的研究開発・支援の必要性については、「大」もしくは「中」と解答した割合は83%(同75%)と高く、当該分野における今後の公的研究開発・支援の必要性は大きいと見られる。なお、ヒアリング調査においても、上記アンケート調査とほぼ同様の見解が得られている。

(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

排水処理技術は「なければ困る」技術であり、当該技術がなかった場合の「負のインパクト」はきわめて大きい。当該技術は、排水処理関連企業による製品の製造、排水処理適正化による水環境保全、および高度な排水処理装置コンパクト化による家庭等へのシステム普及を通じて、以下のインパクトを実現すると考えられる。

- 経済的インパクト
 - 下水高度処理市場(400億円)。
 - 事業所用除害施設、家庭用オン・サイト排水処理設備市場。
 - 適切な排水処理による農産物の価格維持(適切な排水処理が行われないと、農産物の価格低下をまねく)。
- 社会的インパクト
 - 河川等水域浄化による良好な環境の享受。
 - 「食の安全」の確保。
 - 未規制物質による未知の環境影響不安の軽減。
 - 産業廃棄物による地下水汚染、土壌汚染防止。
 - 汚物処理困難な状況でも利用できる災害時用トイレの配備。
 - 排水再利用普及による上下水負担の軽減。
 - 資源(窒素、リン等)リサイクル促進。
 - 下水処理に要する電力等の削減。
- 国民生活へのインパクト
 - 清浄な飲用水の利用。
 - 浄化槽汚泥処理負担軽減。

- 生ゴミ処理負担軽減(ディスプレイ普及)。
- 排水再利用導入による上水節約。
- 介護用トイレの汚物負担軽減。

インパクトアンケート調査結果によると、現時点でのインパクトが「大」もしくは「中」と回答した割合が、社会的インパクトについて80%と高かった。同様に、経済的インパクト(74%)および国民生活へのインパクト(73%)も総じて高い。排水処理は、社会基盤技術であり、また、環境問題とも密接に関係するため、社会的インパクトに対する期待が大きいと思われる。なお、ヒアリング調査においても、上記アンケート調査とほぼ同様の見解が得られている。

(5) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見(参考)

① 現状と課題

- 技術的には、内分泌かく乱物質等の難分解性物質の生物学的分解も可能になってきた。生物学的方法(微生物分解)と物理化学的方法(膜分離、オゾン処理等)とを組み合わせた方法も多い。(学識経験者、企業・研究者、企業・マネージャー)
- 生物膜(バイオフィルム)法に関して、日本のレベルは進んでおり、また、リン回収技術では、日本は世界のトップレベルにある。(企業・研究者)
- 膜分離技術は日本が強い。たとえば、低い運転圧力で使用できる膜が開発されている。分離に高い圧力を必要としなくなれば、膜の応用範囲が大きく広がる。(学識経験者)
- 我が国の技術レベルは高いものの、コストパフォーマンスがあまり良くない。このため、零細な事業者は排水処理装置導入をためらう。コストパフォーマンスは、発展途上国への技術導入を考えたときに問題となる。(企業・マネージャー)
- 装置の省スペース、省エネ、汚泥低減が課題である。対象物質としては、窒素・リン、油脂、環境ホルモン等をターゲットとして、バイオテクノロジーで処理の高効率化を狙っている。(企業・研究者)
- 排水からのリン回収は、有限資源回収として意義・インパクトがある。(企業・研究者)
- 中国で、し尿のリンを回収すると、肥料として年何億ドルもの市場価値を生ずるといわれている。(学識経験者)
- 比較的広い設置スペースを必要とする現在の技術では、導入可能な立地が限られることから、技術の導入、普及にはプラントのコンパクト化が課題であり、その解決のための公的研究開発活動、支援が期待される。(企業・研究者)
- 循環型社会が進めば、閉じたループの中でリサイクルされる水に蓄積するさまざまな物質が大きな問題となるだろう。(学識経験者)
- 家庭排水のし尿と生活雑排水を混ぜずに、かつ、オン・サイトで処理する排水分離・分散型の排水処理の開発とその普及が、環境負荷低減・持続可能性の見地から望まれる。(学識経験者)

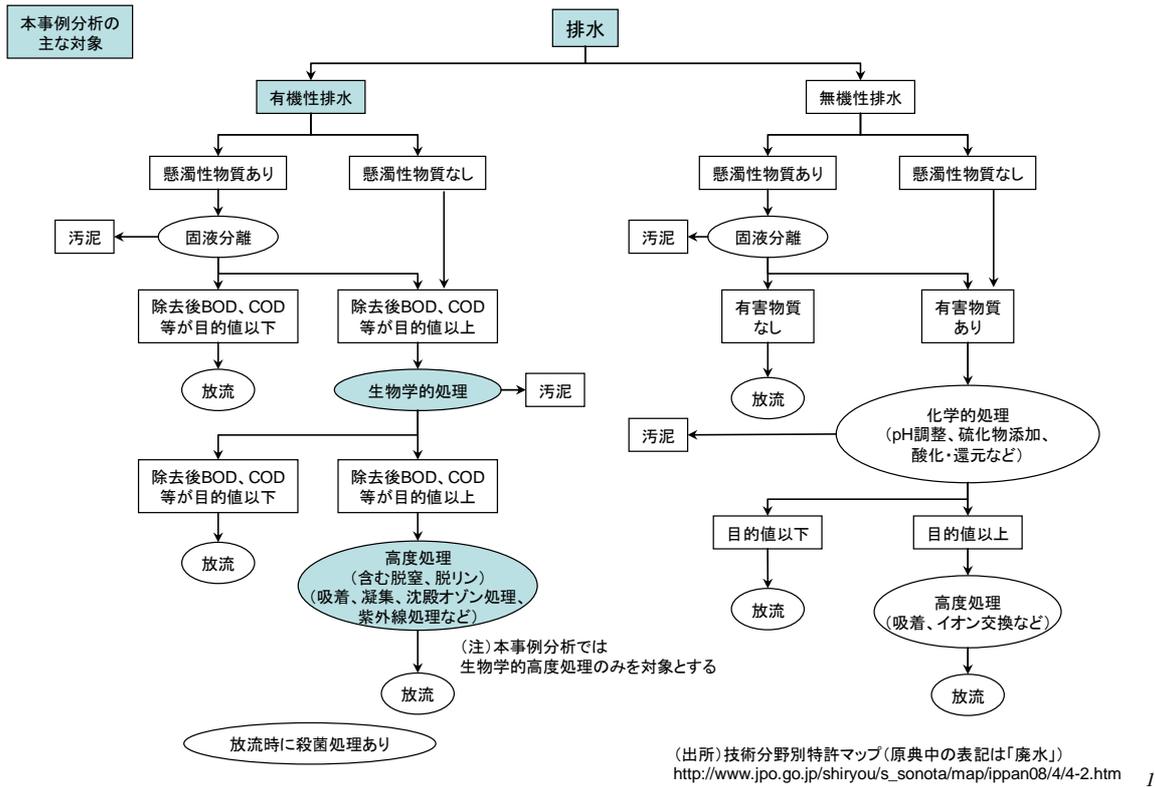
② 今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

- 大学等における微生物叢解析等の基礎研究と企業における応用研究の両者をバランスよく支援し、連携を取ることが重要である。(企業・研究者)
- 「処理技術」と「アッセイ技術」とは、常にペアとなって進んで行く必要がある。アッセイ技術が進めば、「この物質は危ないぞ」というシグナルが出てくる。そして、このシグナルが、食料戦略上のインパクトとなり、処理技術の開発を促す。(学識経験者)
- 個々の要素技術をシステムとして構築するための公的研究開発活動・支援が必要である。(企業・研究者)
- 投資回収まで視野に入れた研究開発・支援シナリオが必要である(企業・マネージャー)
- 公的なプロジェクトには、開発の方向性を与えること、道筋を示すことが大きな意義がある。実際、過去のプロジェクトにおいて技術開発の方向性が示されたにより、「横並び的」に全体の技術開発が促進された。(企業・マネージャー)
- 民間から仕掛けたプロジェクトに良いプロジェクトがある。(企業・マネージャー)

- 少数の企業に偏ることなく、より広く様々な企業への支援が行われることが望ましい。(企業・研究者)
- 公的プロジェクトによる研究開発成果は客観的な評価にさらされるので、成果データ等の信頼性が高い。そのため、下水道事業に関しては、開発に係る設備・装置の形式承認、認可の手続き等が円滑に受けられるというメリットがある。このような、許認可に関連した形での間接的な研究開発支援も重要である。(企業・マネージャー)
- 導入・普及支援の段階では、従来のようなイニシャルコストの補助だけではなく、ランニングコストの補助も考えるべきである。(企業・マネージャー)

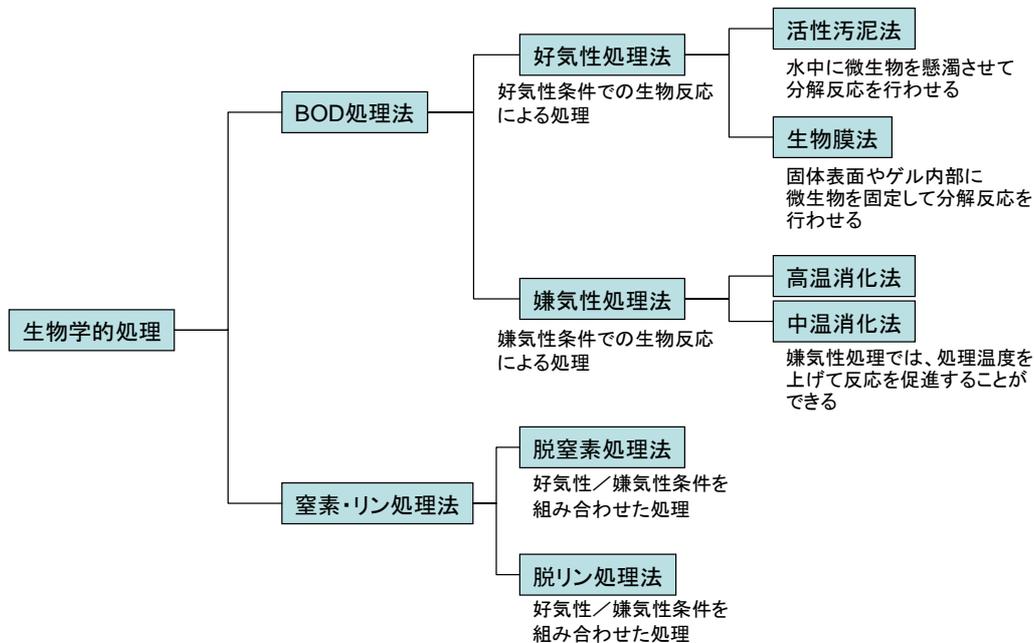
1. 技術動向

(1) 一般的な排水処理フロー



1. 技術動向

(2) 生物学的排水処理技術の分類

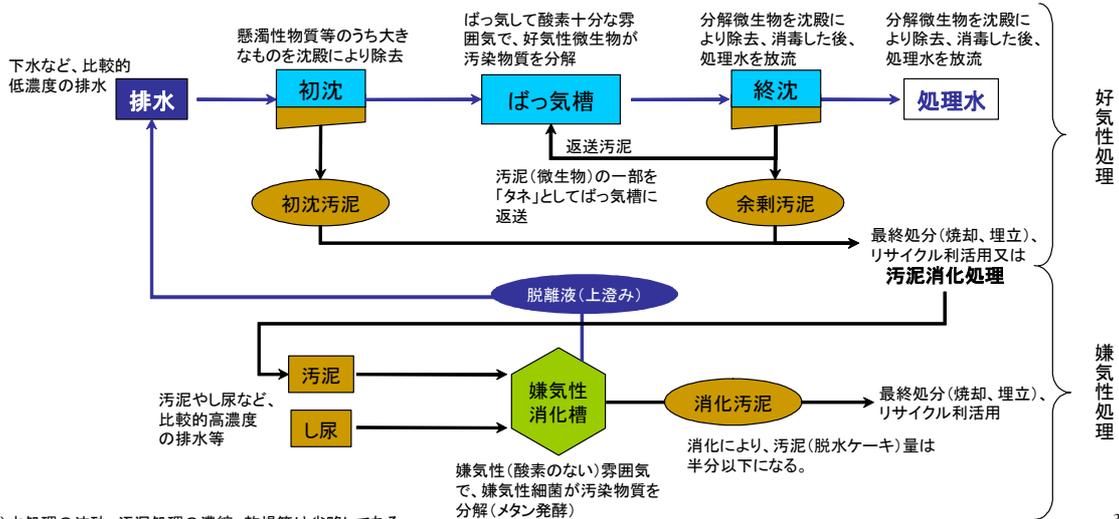


(出所)「わかりやすい水処理設計」(吉村、北川、2003、工業調査会)を基に作図(一部を省略)。
 説明文は、各種資料よりMRI作成

1. 技術動向

(3) 典型的な生物学的処理の概要 (1. 下水処理場におけるBOD処理)

最も典型的な生物学的排水処理は、**下水処理場におけるBOD処理**である。
 (水処理)
 1 下水処理場への流入排水に含まれる大きな懸濁性物質等は、最初沈殿池(初沈)で沈殿として除去される(固液分離)
 2 初沈の上澄水に含まれるBODは、ばっ気槽の好気性微生物がエサとして利用し、分解する(生物分解/好気性処理)
 3 ばっ気槽で増殖した微生物は、最終沈殿池(終沈)で分離される(固液分離)
 (汚泥等処理)
 1 水処理で生じた汚泥は、脱水・乾燥等の処理を受けた後、最終処分されるか、コンポスト、建材等として利活用、又は
 2 嫌気性消化(メタン発酵)により、メタンと炭酸に分解される(生物分解/嫌気性処理)
 3 また、し尿などの高濃度排水は、嫌気性消化汚泥分離の後、BODを含んだ脱離液(上澄み)が水処理に回される



(注)水処理の沈砂、汚泥処理の濃縮、乾燥等は省略してある

3

1. 技術動向

(4) 典型的な生物学的処理の概要 (2. 脱窒素/リン処理)

・湖沼等水域の富栄養化が問題になり、排水中の窒素、リンが問題とされるようになった。このため、排水処理においても、従来の汚濁物質分解除去だけでなく、脱窒素、脱リン処理が求められる(高度処理)。
 ・脱リン処理は、有限な資源であるリンの回収技術としても重視されている。
 ・どちらの技術も、従来型技術は設備が大型で運転操作が複雑になる傾向がある。

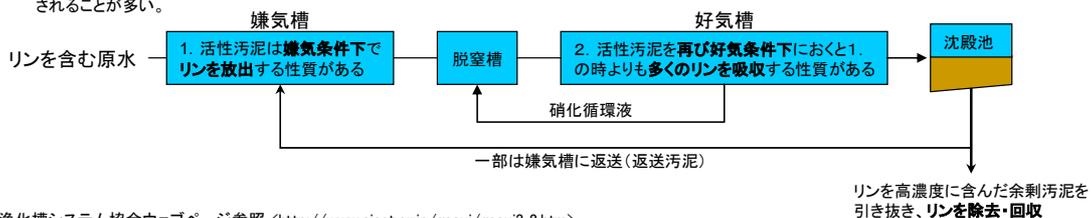
脱窒素処理原理

プロセスが複雑で、運転管理に技術を要するため、大・中規模処理場向き¹⁾。



脱リン処理原理

物理化学的方法(凝集・沈澱法)と異なり、薬品を添加する必要がないが、リンの除去効率は今のところ物理化学的方法より低い。また、運転操作が複雑である²⁾。下水処理場では、脱窒処理と組み合わせて処理されることが多い。



¹⁾浄化槽システム協会ホームページ参照 <http://www.siset.or.jp/gesui/gesui3_2.htm>

²⁾特許庁ホームページ参照 <http://www.jpo.go.jp/shiryou/s_sonota/map/ippan08/4/4-2-2.htm#3>

4

1. 技術動向

(5) 難分解性物質等を含む排水の高効率生物処理への課題

- ・生物学的排水処理技術の原理的基礎は、従来の典型的な技術においてほぼ固まっている。
- ・分解可能な汚染物質への対応、高効率化のためには、下表に掲げるような課題を解決する必要がある。

処理法	課題	対応
好気性処理法	<ul style="list-style-type: none"> ・曝気槽内の排水にブローで空気を吹き込む活性汚泥法では分解微生物を高濃度に維持することが難しく、処理能力、効率を制限し、また、高濃度排水に対応しにくい(高MLSS^{*)}化。 ・曝気ブローの電力消費が大きく、ランニングコストを押し上げる要因になっている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・担体の形状や素材を工夫した担体に微生物を固定化し、高密度に繁殖させる(生物膜法) ・膜分離を応用して高MLSS化し、高効率に短時間で処理する。
嫌気性処理法	<ul style="list-style-type: none"> ・分解微生物の増殖が遅く、処理能力の制限要因となる。 ・装置が大型で、設置面積を要する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・リアクタ内で微生物を直径2~5mmの顆粒(グラニュール)に自己造粒させ、流動させて(流動床法)高効率化、コンパクト化する(UASB法等)。 ・高温に耐える微生物を利用し、高い温度で高効率に反応させる。
(共通技術)	<ul style="list-style-type: none"> ・汚泥沈殿池 / タンク等固液分離装置のコンパクト化 ・分解可能な難分解性有機物質の拡大 ・ノウハウ不要の最適化された装置運転 	<ul style="list-style-type: none"> ・固液分離に膜分離を用いて沈殿池/タンクを省く。 ・分解生物の探索、分解生物叢の解析により、適した微生物、反応条件を明らかにする。 ・バイオセンサーとマイクロプロセッサを組み合わせた制御を導入する。

*) Mixed liquor suspended solids: 活性汚泥浮遊物質。活性汚泥中の浮遊物量。単位は(mg/L)。

5

1. 技術動向

(6) これからの排水処理技術に対する要請と要素技術

■ 難分解性物質であっても、ほとんどの物質は、時間さえ掛ければ生物分解可能だが、実用技術としては現実的な速度で対象物質を分解できなければならない

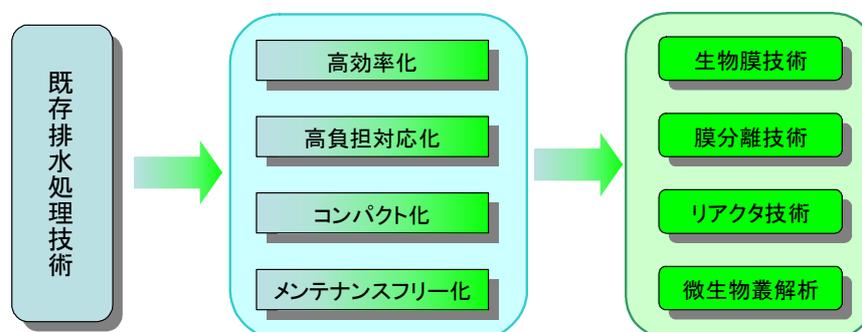
→ **高効率化、高負荷対応**の要請

■ 大型な装置では広い設置スペースが必要となり、小規模な工場、事業所や、家庭に導入しにくい

→ **コンパクト化**の要請

■ 運転に高度な技術を要するのでは、広く一般に普及しない

→ **メンテナンスフリー化**の要請

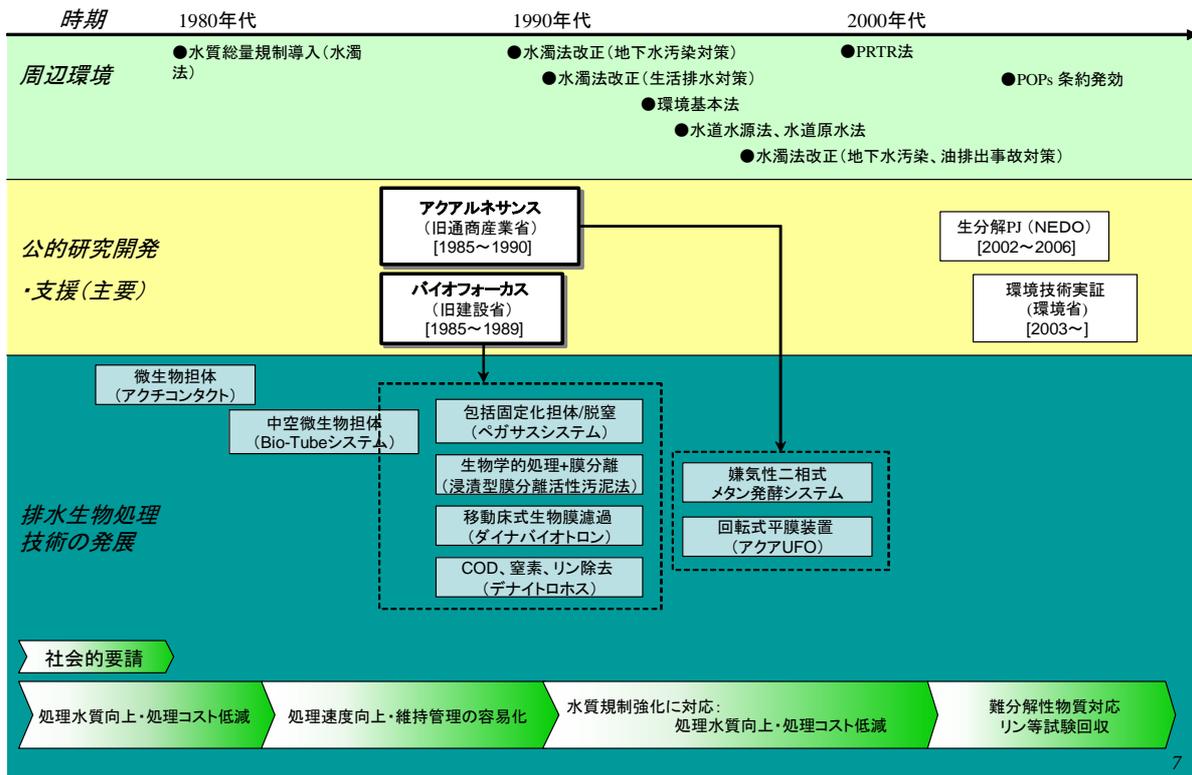


物理化学的処理と生物的処理の組み合わせが必要

6

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(1) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け



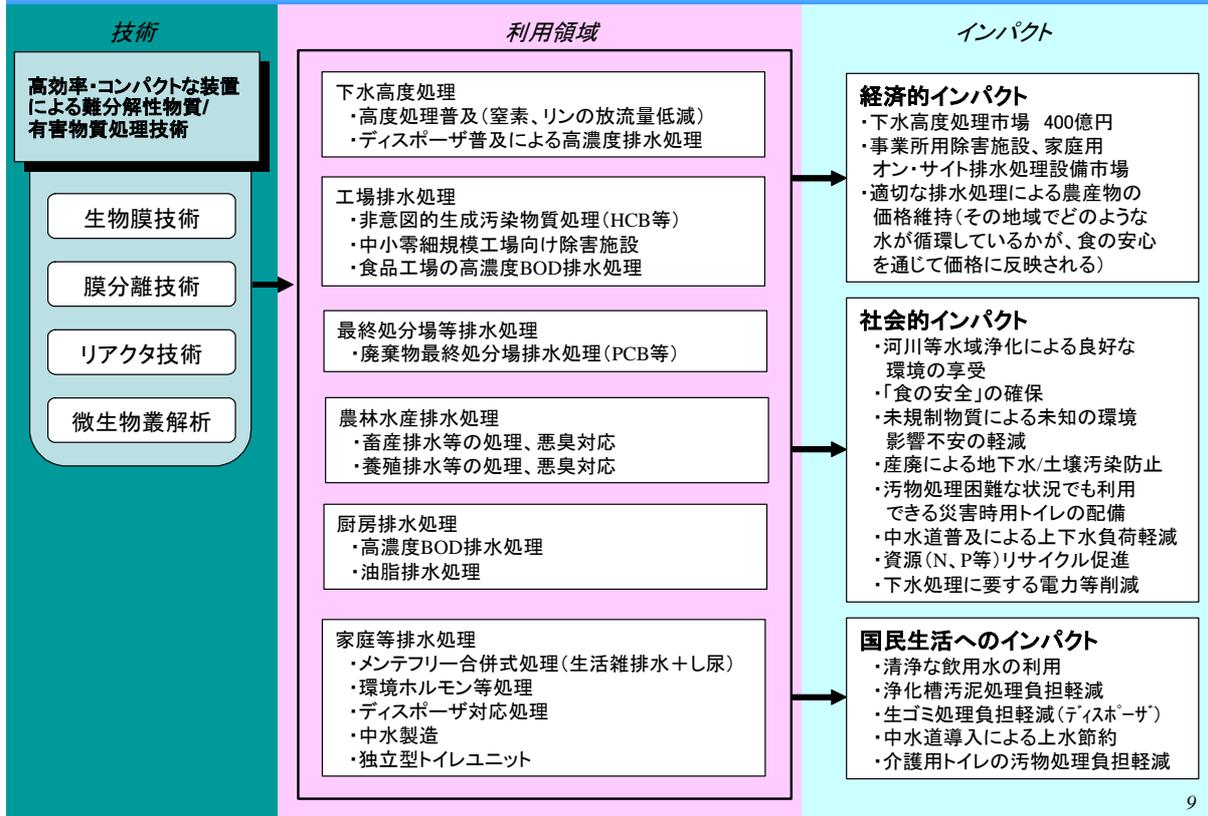
2. 公的研究開発・支援の位置付け

(2) 技術開発への公的研究開発・支援の寄与内容等

公的研究開発・支援	寄与の対象	寄与の形態・内容等(主要例)
バイオフィーカスWT [1985~1989] (バイオテクノロジーを活用した新排水システム) 旧建設省、約6.5億円	微生物固定化担体の開発 他に、バイオセンサーの開発、有用微生物の分離培養、有機物除去バイオリアクターの開発が寄与対象	企業における研究開発の支援 ・テーマごとに企業等が共同研究を行った。参加企業は約50社。 ・包括固定化担体の微生物により、好気的に窒素・リン酸除去を行う「ベガサ」等の開発に繋がった。
アクアルネサンス '90 [1985~1990] (水総合再生利用システム) 旧通商産業省、約118億円	分離膜を組み込んだ高濃度バイオリアクター開発 微生物の研究開発、膜素材の研究開発、メタン発酵用膜モジュールの開発、新型メタン発酵用バイオリアクターの開発、メタン発酵用計測制御システム、メタン発酵に関する総合調査研究が寄与対象	企業における研究開発の支援 ・テーマごとに企業が共同研究を行った。参加企業は約30社。 ・約25%の省スペース化を実現する膜システム「アクアUFO」等の開発に繋がった。
生分解プロジェクト [2002~2006] (生分解・処理メカニズムの解析と制御技術の開発) NEDO、'04年度事業費 5.8億円	メタン発酵プロセスの高効率化、安定化に必要な技術の開発 生分解を目的とした嫌気性微生物の機能解明、育種等基盤技術の開発 が寄与対象(以上、排水処理関係)	企業、研究組合、公益法人、独立行政法人、大学等の研究機関
環境技術実証モデル事業 [2003~] 環境省	小規模事業場向け有機性排水処理技術分野 ・日排水量50m ³ 以下程度の厨房を想定した生物学的/物理化学的処理技術普及が寄与対象 山岳トイレ技術分野 ・インフラ未整備地域で、公衆トイレのし尿を生物/化学/物理的に処理する、非放流式装置普及が寄与対象。(以上、H15、16年度の対象技術)	都道府県/政令指定都市を実証機関とする実証モデル事業 ・既に適用可能な段階にありながら、評価が定まっていなかったためエンドユーザーが安心して使用することができず普及が進んでいない先進的環境技術を対象とする。選定された技術を客観的に実証し普及を促進する事業。
厚生科学研究費 ACT21 [1997~2001] e-WATER [2002~2004] 等	(主として浄水向け技術の研究・開発)	(排水処理装置開発に関して補助が行われた例) 「膜処理を導入した小型生活排水処理装置の実用化に関する研究」 (H10~12、生活安全総合研究事業)

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

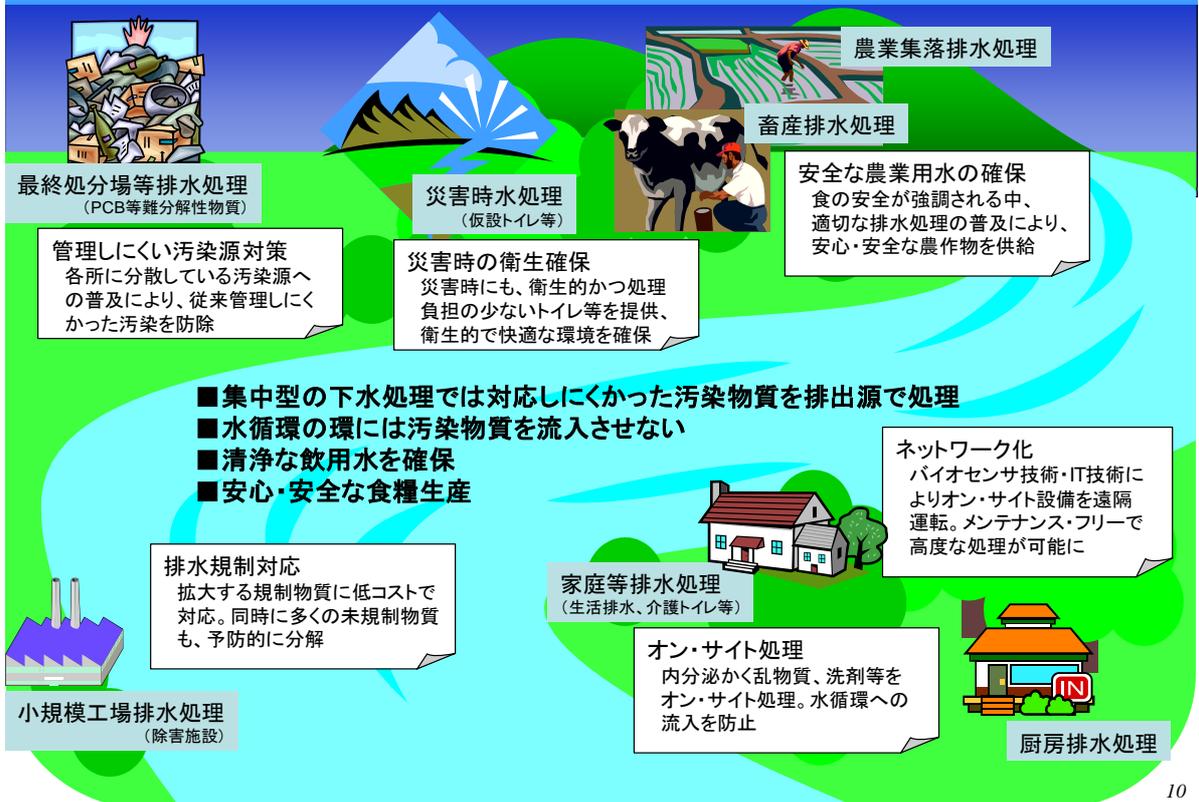
(1) 技術を起点とした各種インパクトと実現プロセス



9

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

(3) 難分解性物質等を含む排水の高効率生物処理技術普及のイメージ



10

4.まとめ

- 排水処理技術は「なければ困る」技術であり、当該技術がなかった場合の「負のインパクト」はきわめて大きい。
- 排水処理技術は、排水規制等の法規制等強化に対応して進歩した。また、下水道関連の排水処理開発においては、規制強化に対応した公共調達が開発を促進した。
- 公的研究開発・支援が我が国の排水処理技術全体の底上げに寄与したため、日本の排水処理技術は世界をリードしている。
- 将来は食の安全がますます強調される。農業用水は程度の差はあれ循環しているので、どのような水を使っているかが問われるようになる。適切な排水処理を行わなければ農産物の価格低下をきたす。
- 排水からのリン等の有限な資源の回収の重要性は将来に向けて増大する。
- 高度処理の普及により、将来も清浄・安心な飲用水を供給することが可能になる。
- 農業集落排水、畜産排水、厨房排水、簡易トイレ、移動廃水処理等を対象とした、コンパクトな排水処理技術の開発が考えられる。

11

4.まとめ

(参考) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

現状と課題

技術的には、内分泌かく乱物質等の難分解性物質の生物学的分解も可能になってきた。生物学的方法（微生物分解）と物理化学的方法（膜分離、オゾン処理等）とを組み合わせた方法も多い。（学識経験者、企業・研究者、企業・マネージャー、）

生物膜（バイオフィルム）法に関して、日本のレベルは進んでおり、また、リン回収技術では、日本は世界のトップレベルにある。（企業・研究者）

膜分離技術は日本が強い。たとえば、低い運転圧力で使用できる膜が開発されている。分離に高い圧力を必要としなくなれば、膜の応用範囲が大きく広がる。（学識経験者）

我が国の技術レベルは高いものの、コストパフォーマンスがあまり良くない。このため、零細な事業者は排水処理装置導入をためらう。コストパフォーマンスは、発展途上国への技術導入を考えたときにも問題となる。（企業・マネージャー）

比較的広い設置スペースを必要とする現在の技術では、導入可能な立地が限られることから、技術の導入、普及にはプラントのコンパクト化が課題であり、その解決のための公的研究開発活動、支援が期待される。（企業・研究者）

今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

大学等における微生物叢解析等の基礎研究と企業における応用研究の両者をバランスよく支援し、連携を取ることが重要である。（企業・研究者）

「処理技術」と「アッセイ技術」とは、常にペアとなって進んで行く必要がある。アッセイ技術が進めば、「この物質は危ないぞ」というシグナルが出てくる。そして、このシグナルが、食料戦略上のインパクトとなり、処理技術の開発を促す。（学識経験者）

個々の要素技術をシステムとして構築するための公的研究開発活動・支援が必要である。（企業・研究者）

公的なプロジェクトには、開発の方向性を与えること、道筋を示すことが大きな意義がある。（企業・マネージャー）

国家プロジェクトで開発された技術については、当該技術に係る製品の形式認証等で考慮する等の間接的支援も有効である。（企業・マネージャー）

導入・普及支援の段階では、従来のようなイニシャルコストの補助だけでなく、ランニングコストの補助も考えるべきである。（企業・マネージャー）

12

3-15 海底からの石油の経済的採取技術(フロンティア)

(1) 事例分析に当たって

① 対象とした技術の概要

本事例分析では、当該技術を以下のように捉え、調査分析の対象とした。

- 海洋石油資源の探鉱、開発、生産という3つのステップの内、特に「開発」に関する技術。

② 調査方法および対象

本事例調査では、当該技術に関する有識者等へのヒアリング調査を主とし、さらに文献調査・統計データ分析を実施した。

ヒアリング調査の対象を以下に示す。

- 公的研究機関(JOGMEC)3名
- 企業(石油開発関連)12名

(2) 技術動向

海底からの石油採取は、水深が300m以内の場合は固定式構造物(ジャケット式)が建造されるが、通常大水深と呼ばれている300m以深の海洋石油開発においては、浮遊式の採取技術が経済的になる。大水深での石油開発はメキシコ湾、ブラジル沖、北海、西アフリカにおいて進められ、1990年代前半以降急速に発展してきた。現在、試掘井では水深3,000mを超え、生産井は最大で水深2,000m程度である。

海洋石油開発は、一般的に探鉱、開発、生産という3つのステップで実施される。開発・生産に係るコストは1,000億円程度が普通であり、一般的に開発コストが50%、生産コストが50%である。また、開発コストの半分が生産設備コスト、残りが掘削コストである。大水深では掘削コストが増え開発コストが大きくなるため、経済的な石油採取のためには開発コストを抑えることが重要である。そのためには、(a)構造物のコスト削減、(b)掘削コストの削減を行うことが重要である。そこで技術的に実現可能でコストを低減できる浮遊式の構造物が考案され、水深などに応じて半潜水型、TLP(Tension Leg Platform)、SPAR、FPSO(Floating Production, Storage and Offloading System)、Subseaなど様々な方式が利用されている。

また、新たな構造物を構築することなく既存の構造物から水平方向に掘削する大偏距坑井掘削や1坑井の生産能力増大のためのマルチラテラル坑井掘削などコスト削減のための掘削技術が利用されており、開発コストを20~30%程度(開発・生産全体の10~15%程度)削減することが可能となっている。

海洋石油開発は、世界的な規模で活動するメジャー(国際石油資本)を中心に行われてきた。日本の開発は一部に留まり限定的である。

(3) 公的研究開発・支援の位置付け

公的研究開発・支援は旧石油公団およびJOGMECを通じて実施されてきた。JOGMECを中心に民間企業が参画して、探鉱、開発、生産という3つのステップの中で、主に「開発」に関して実施されている。主な公的研究開発・支援は以下の通りである。

(民間で実施される応用・実用化研究への資金提供)

- 掘進率の向上と回転数の減少によりスムーズな掘削進路を確保し、掘削費を低減するために水平坑井掘削用 Remote-Controlled Dynamic Operating System (Geo-Pilot™:Rotary Steerable System)を開発した。JOGMEC と提携契約を結んだ米国企業(Sperry-Sun)により、北海、メキシコ湾、中東、オーストラリア、ブラジル、アラスカおよび南アフリカにおいて本システムによるサービスが300回以上提供されている。
- 水深1,000m以深で適用するため、従来のフレキシブルパイプを軽量化する Flexible Riser Technology を開発し、ブラジル石油開発公社(ペトロプラス)に販売した。

(研究施設の整備)

- 日本初の半潜水型の掘削リグ(第二白竜)を建造し、民間企業にリースした。この経験は後に日本海洋掘削(株)が建造した半潜水型の掘削リグ(第五白竜)に活用された。第五白竜の最大稼働水深は500mである。

(基盤技術の開発)

- 開発・生産・撤去に要するライフサイクルコストを試算するソフト Deep tool (Computerized Deepwater Field-Development Planning Program)を民間企業と共に開発した。

(データ整備・データベース構築)

- 衛星 Terra に搭載された光学センサ「ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer)」のデータ提供を行った。

(技術活用人材育成)

- トレーニング施設の建設・提供。日本企業を対象としたWellコントロール講習会(初・中・上級の3コースがある)を1990年度から毎年開催し、2003年度までに586名が受講¹。

また、インパクトアンケート調査結果によると、当該技術に対する公的研究開発・支援の寄与度合いが「大」もしくは「中」と回答した割合は74%とやや高い。

(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

2000年の石油供給は日産75百万バレルであったが、2020年には日産104百万バレルとの予想があり、今後、石油の生産量は拡大する。この際、OPECのシェアが増大(約50%)することが予想されており、石油エネルギーの安定供給のためには供給源の多様化が必要である。一方、世界の埋蔵量の20~30%程度は海洋にあるが、未発見埋蔵量(OPECを除く)の2/3は海洋と予想されている。従って、非OPECにおいては今後海洋石油開発の重要性が高まる。また、水深別の平均石油埋蔵量をみると1,000~2,000mで多く、石油の安定供給、石油エネルギーの延命のためには300m以深の海洋石油開発技術が重要となっている。以上の背景から、本技術が実現することによって、以下のようなインパクトが期待されている。

- 経済的インパクト
 - 経済活動の基盤としての石油の増産。
 - 石油の探鉱・開発への投資増加。
- 社会的インパクト
 - 石油エネルギーの延命。
- 国民生活へのインパクト
 - 石油の安定供給。
 - 石油価格の安定化。

また、海洋石油開発技術の他分野における展開としては、2004年に水平掘削技術を用いた雲仙普賢岳の科学掘削調査が実施されている。溶岩ドーム下の火道(マグマの通り道)からの溶岩の採取、火道の温度計測・ガス成分分析が行われ、科学知見の獲得に寄与した。

また、海洋石油開発から生まれたライザー掘削技術が、OD21計画(Ocean Drilling in the 21st Century: 深海地球ドリリング計画)における科学掘削船「ちきゅう」の建造技術に転用され、深海での科学掘削が可能となり、科学知見の獲得に寄与するとみられる。この他、海洋石油開発技術は「我が国におけるメタンハイドレート開発計画」にも寄与し、石油代替エネルギーの開発に貢献するとみられる。

さらに、大偏距坑井掘削技術やマルチラテラル坑井掘削技術は、海底下の帯水層などへのCO₂貯留技術への応用が期待でき、大気中へのCO₂排出を削減することが予想される。

インパクトアンケート調査結果によると、インパクトが「大」もしくは「中」と回答した割合が経済的インパクト94%、社会的インパクト86%、国民生活へのインパクト75%である。

(5) 指摘された課題・今後の公的研究開発・支援のあり方等についての意見(参考)

① 現状と課題

- 国内の石油埋蔵量は限られており、日本の石油の自給率は1%未満である。現在、300m以深の海洋油田は日本に存在しないため研究開発などチャレンジする場がなく、また海外ではメジャーを中心に事業が

¹ 開発および人材育成はJOGMECが実施し、探鉱に関する技術は(財)資源・環境観測解析センターが実施している。

- 行われており、日本企業の参画チャンスが限られるため石油開発の経験も少ない。(企業・マネージャー)
- 海洋石油開発には多大な資金が必要であるが、国内の企業は資本力が小さい。(企業・マネージャー)
 - 日本独自の人工衛星を利用した石油探査ができていない。(企業・マネージャー)
 - ② **今後の公的研究開発・支援のあり方等についての意見**
 - エネルギー安全保障を視野に入れた政策の明確化
 - 国がメジャーなどに依存することなく自立的に海洋石油開発を行う能力を保有することはエネルギーの安定供給の面から重要である。(企業・役員)
 - 東シナ海(最大水深 200m 程度)での鉱業権を資源エネルギー庁に申請したが、現在に至るも許可が下りていない。開発が行えるよう、政策的支援をお願いしたい。(企業・マネージャー)
 - 政策に基づく研究開発・支援
 - FPSO など日本が得意な分野のコスト削減技術に関する更なる研究開発が重要である。(企業・役員)
 - 海洋石油開発を行えるオペレーター(石油開発会社)を育てることが重要である。(企業・役員)
 - 探鉱にはかなりのコストがかかるため、国の資金による基礎調査(地震探査、試掘、探掘など)を期待する。(企業・マネージャー)
 - ビット(掘削用ドリルの刃の部分)の製造には特殊鋼が必要であるが、国内での調達が難しくなっている。国内での特殊鋼の安定供給に対する政策支援を期待する。(企業・役員)
 - 300m 以深で使用する掘削リグは 200~400 億円/基である。掘削リグの購入・修理に多大な費用がかかるため、公的融資の継続を希望する。(企業・役員)
 - 日本独自の人工衛星を利用した石油探査が可能になるように国がインフラを整備すべきである。(企業・マネージャー)

1. 技術動向

(1) 海洋石油開発に係るコスト削減

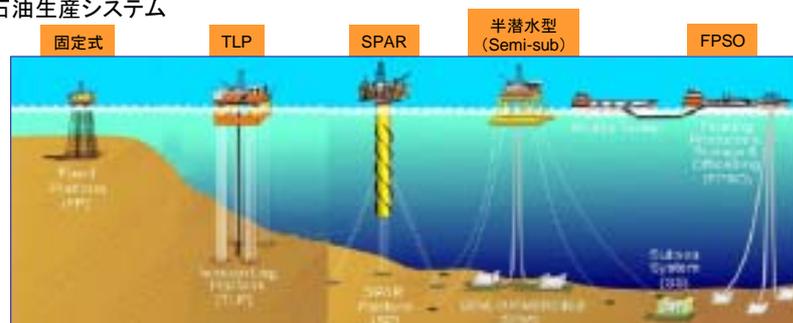
- 300m(1,000ft)以深は、通常大水深と定義されている。
- 海洋石油開発は、メジャー(国際石油資本)が中心であり、日本の開発は限定的である。
- 海洋石油開発は、一般的に探鉱、開発、生産という3つのステップで実施される。
- 開発・生産に係るコストは、一般的に開発コストが50%、生産コストが50%である。また、開発コストの半分が生産設備コスト、残りが掘削コストである。大水深では掘削コストが増え開発コストが大きくなるため、経済的な石油採取のためには開発コストを抑えることが重要である。
- 開発コストを抑えるための技術
 - ①水深に応じた経済的構造物
 - ②水平掘削技術

1

1. 技術動向

(2) 水深に応じた経済的構造物

- 水深300mまで:固定式(ジャケット式)が主
鋼管類で溶接・組み立てられたジャケットを海底面に固定
- 水深300m以深:浮遊式が主
 - ・半潜水型(Semi-sub)
箱形の船体上に装置を搭載、アンカー等で位置を固定
 - ・TLP(Tension Leg Platform)
生産設備を搭載した半潜水型の構造物をテンション・レグにより海底に固定
 - ・SPAR
円筒(Spar)形をした浮体式構造物
 - ・FPSO(Floating Production, Storage and Offloading System)
浮体式海洋石油・ガス貯蔵積出設備
 - ・Subsea
海底面上に設置する海底石油生産システム

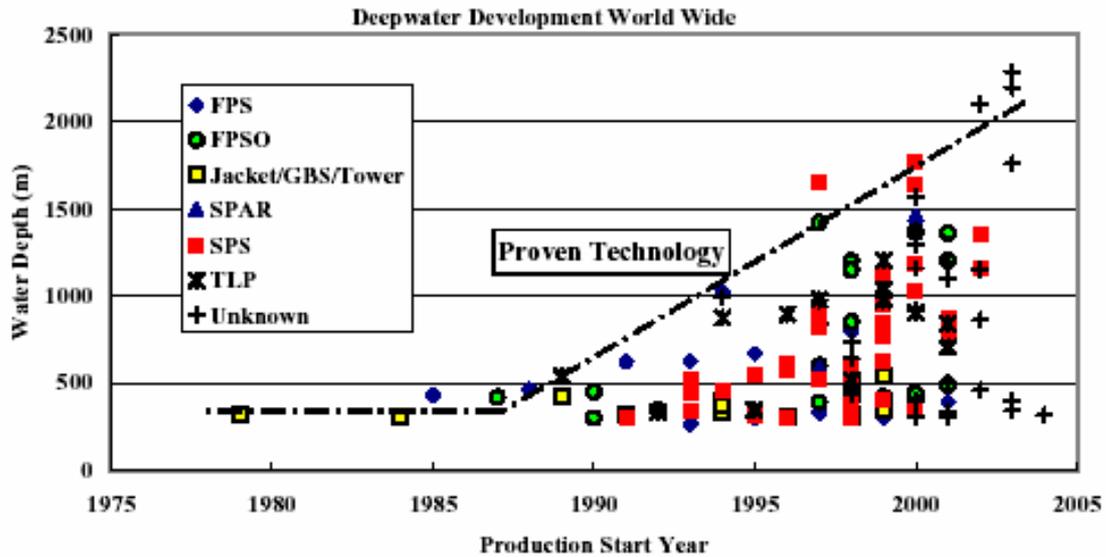


(出所) Deepwater Gulf of Mexico 2004: America's Expanding Frontier, MMS

2

1. 技術動向
 (3) 構造物の推移

300m以深の海洋石油開発は、1990年代前半以降急速に発展した。

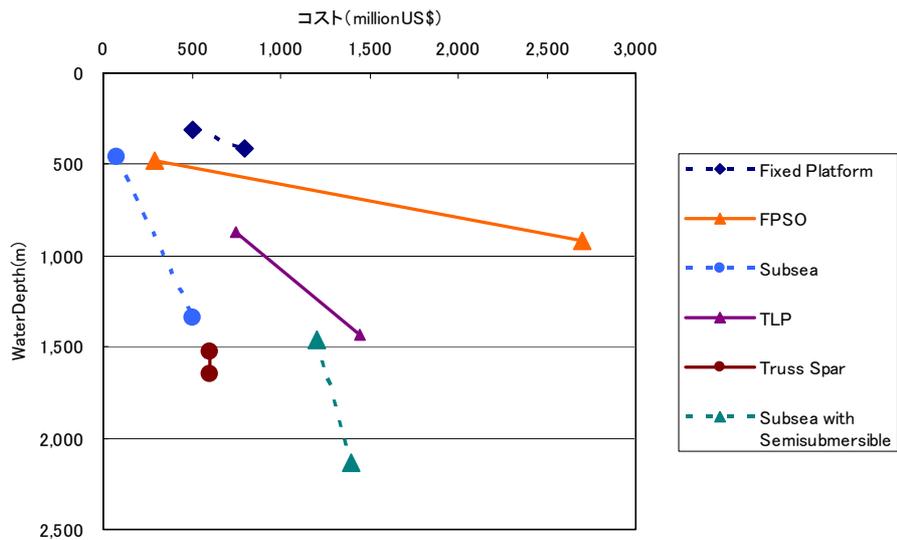


(出所) 海洋工学ハンドブック(JOGMEC)

3

1. 技術動向
 (4) 水深に応じた構造物によるコスト低減

300m以深において開発コストを下げるために、水深に応じて様々な構造物が利用されている。



(出所) Shell

4

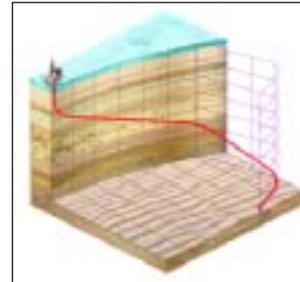
1. 技術動向

(5) 水平掘削技術によるコスト低減

■大偏距坑井掘削(Extended Reach Drilling)

水平偏距と垂直深度の比が2以上3以下の傾斜井の掘削を言う。それ以上を Mega Reach Wellと呼ぶ。海洋油ガス田開発においては、1基のプラットフォームから到達し得る偏距が大幅に増大するため、開発に要するプラットフォーム数を削減するなど、開発コストの削減が可能。

大偏距坑井掘削は、一つの場所から広い範囲の油層に到達する事を可能にし、生産処理用のプラットフォームの数を減らし、隣接フィールドの開発を可能にした。97年11月に生産を開始したHibernia(カナダ)では、海底仕上げ井に代えて大偏距掘削井を採用することでプロジェクト全体の開発コストを20%削減したことが報告されている。



(出所) www.kmtechnology.com

■マルチラテラル坑井(Multi Lateral Well)掘削

1坑井の生産能力増大のため、その坑井から複数の枝掘り坑井を掘削し同時仕上げを行う坑井。複数の貯留層を同時に仕上げ開発コストを削減することが可能。母体となる坑井のケーシングにウィンドウを開いて枝掘り坑井を掘削することが多い。

マルチラテラル坑井掘削は、全体の開発コストを20~30%程度削減することができる。

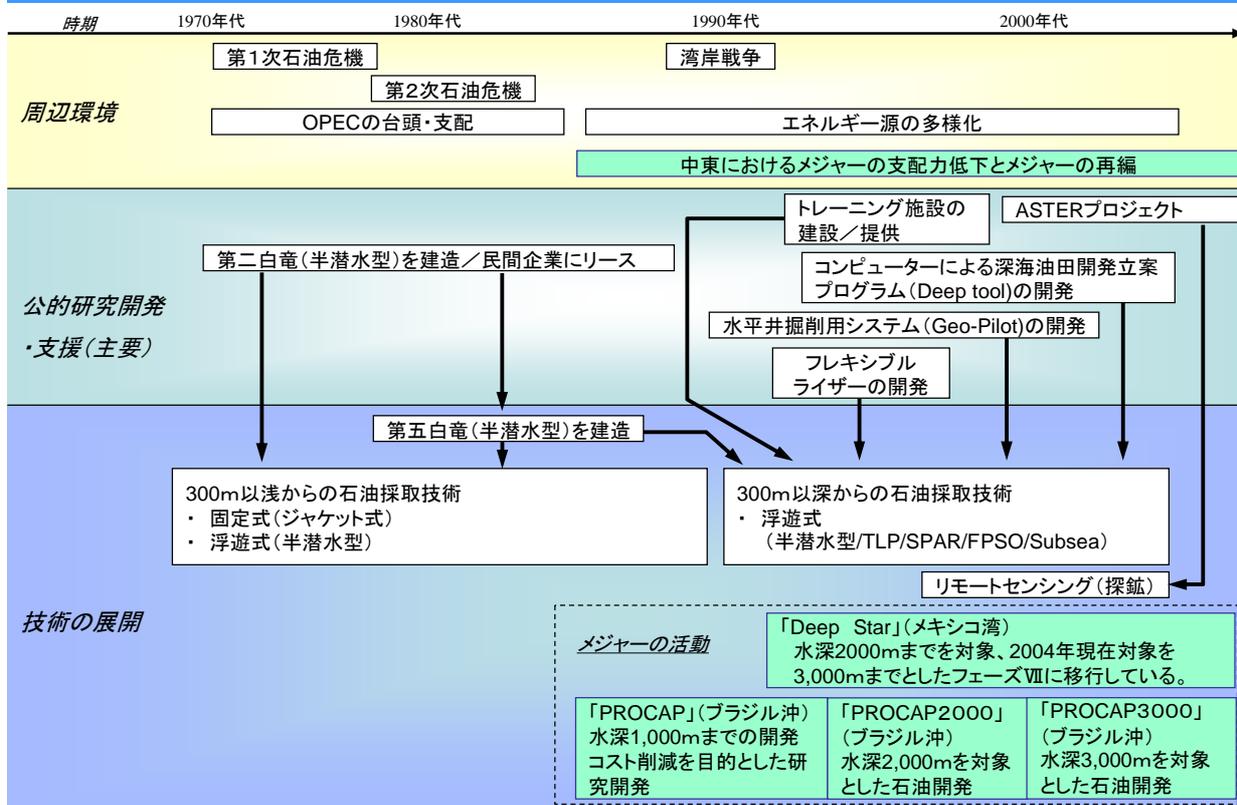


(出所) www.aoc.co.jp/e/tec/tec-main.html

(出所) 海洋工学ハンドブック(JOGMEC)
<http://www.japt.org/html/iinkai/drilling/yougo/>

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(1) 技術開発の経緯



2. 公的研究開発・支援の位置付け (2) 公的研究開発・支援

区分	実施主体	寄与の対象	寄与の形態・内容等(主要例)
リモートセンシング	(財)資源・環境観測解析センター	光学センサー	・衛星Terraに搭載された光学センサー「ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer)」のデータ提供
ソフト開発	JOGMEC、(株)海洋工学研究所、インドネシア石油(株)、ジャバエンエナジー石油開発(株)、新日本石油開発(株)、新日本製鐵(株)、石油資源開発(株)、帝国石油(株)、日本海洋掘削(株)、日本鋼管(株)、古河電気工業(株)	開発・生産・撤去に要するライフサイクルコストを試算するソフト	・Deep tool (Computerized Deepwater Field-Development Planning Program)を民間企業と共に開発
掘削技術	JOGMEC、Sperry-Sun Company(米国)	水平井掘削用 Remote-Controlled Dynamic Operating System	・Geo-Pilot™: Rotary Steerable Systemを民間企業と共に開発。 ・掘進率の向上と回転数の減少によりスムーズな掘削進路を確保し、掘削費を低減 ・米国企業により、北海、メキシコ湾、中東、オーストラリア、ブラジル、アラスカ及び南アフリカにおいて本システムによるサービスが300回以上提供されている。
	JOGMEC、古河電気工業(株)	フレキシブルライザー	・水深1,000m以深で適用するため、従来のフレキシブルパイプを軽量化するFlexible Riser Technologyを民間企業と共に開発。ブラジル石油開発公社(ペトロプラス)に販売した。
	JOGMEC	掘削リグの建造	・日本初の半潜水型の掘削リグ(第二白竜)を建造し、民間企業にリースした。この経験は後に日本海洋掘削(株)が建造した半潜水型の掘削リグ(第五白竜)に活かされた。
人材育成	JOGMEC	トレーニング施設の建設・提供	・日本企業を対象としたWellコントロール講習会を1990年度から毎年実施。2003年度までに586名が受講。

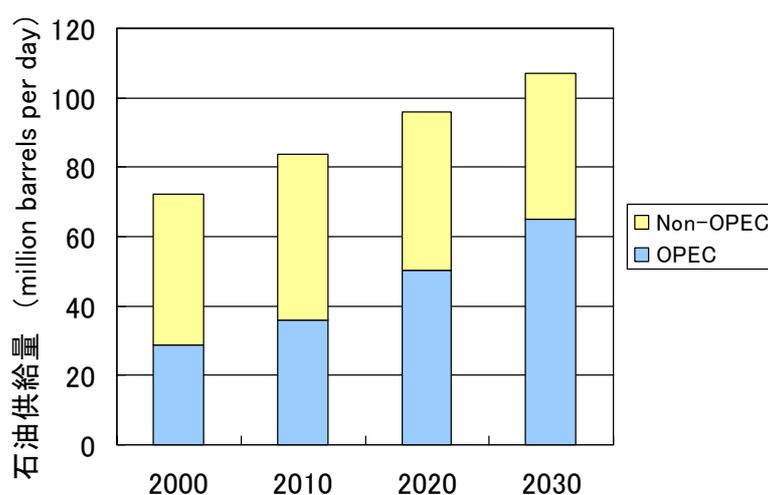
予算額

■ JOGMECの石油・ガス開発関連予算:年間約240億円(増加傾向)

7

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (1) 世界の石油供給動向

今後、石油の供給量が増えるがOPECのシェアが増加傾向。
石油エネルギーの安定供給のためには供給源の多様化が必要。

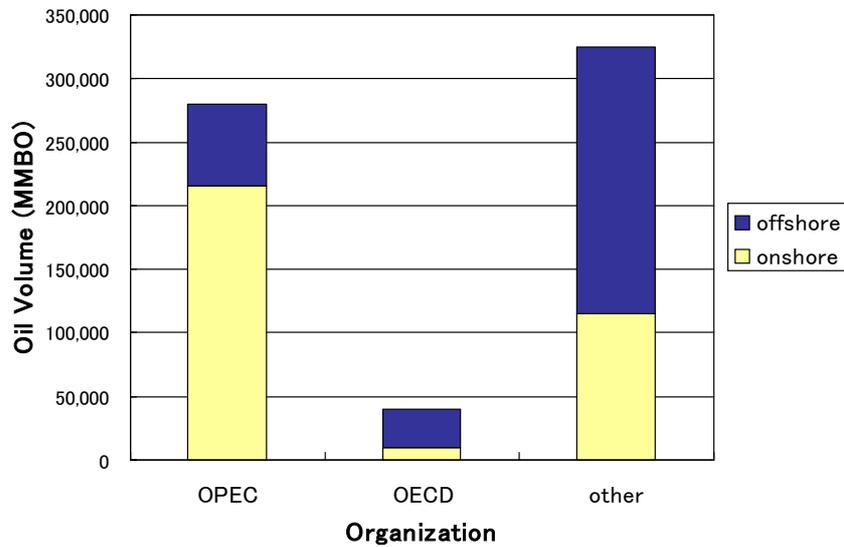


(出所) World Energy Outlook 2002, IEA

8

3 . 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (2) 未発見石油埋蔵量の分布状況

非OPEC地域では、海洋の割合が約70%。

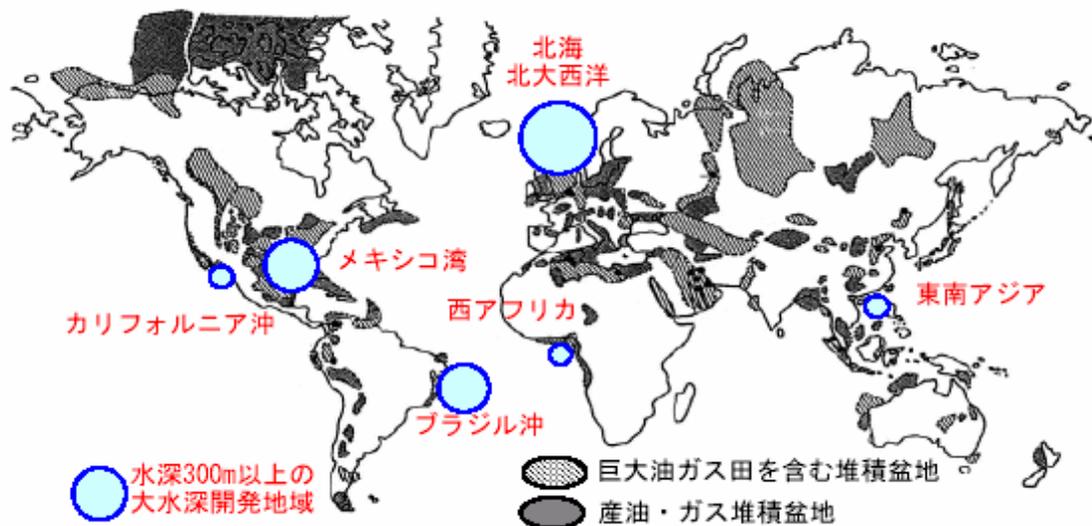


* 未発見埋蔵量 (Undiscovered resources)
 米国地質調査所 (USGS) が埋蔵量評価に用いている分類要素の1つ。埋蔵量は累計生産量 (Cumulative production)、確認可採埋蔵量 (Remaining Reserves)、埋蔵量成長 (Reserve growth)、未発見資源量 (Undiscovered volume) の4つに分類して評価されており、これらの合計を総資源量 (Endowment) と定義し、いずれも技術的に採取可能な量を示している。

(出所) www.jnoc-rp.jp

3 . 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (3) 世界の大水深油ガス田

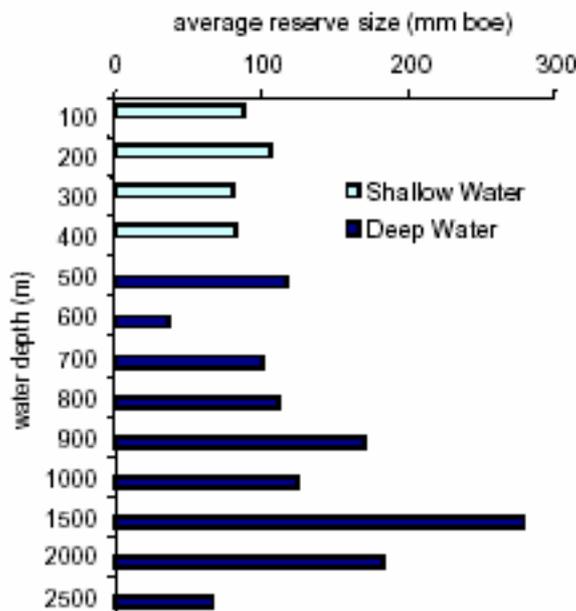
300m以上の油田は、メキシコ湾、ブラジル沖、北海、西アフリカなどに集中している。



(出所) 海洋工学ハンドブック(JOGMEC)

3 . 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (4) 平均石油埋蔵量の水深別分布

平均石油埋蔵量は、300m以深で多く、特に水深1,000~2,000mが多い。



source: The World Deepwater Report 3

(出所)www.dw-1.com, "The World Deep Water Market"

11

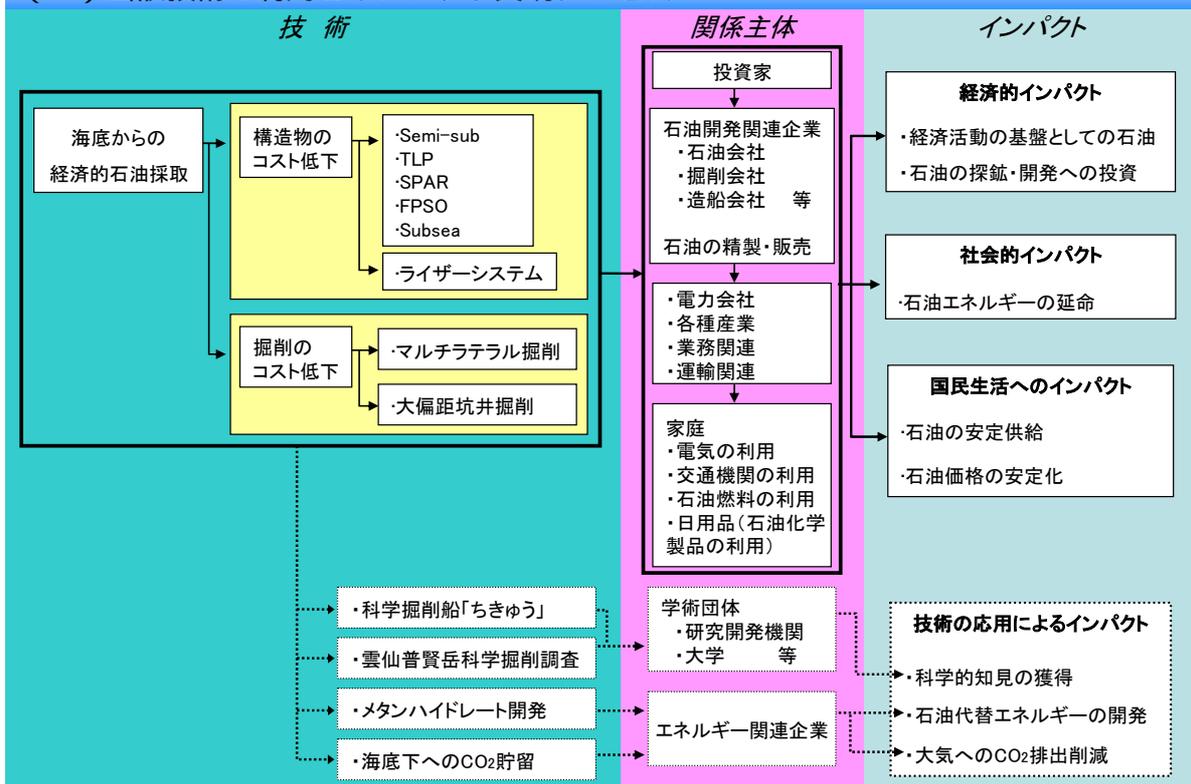
3 . 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (5) 海洋石油開発技術の他分野における展開

応用分野	
OD21計画(Ocean Drilling in the 21st Century: 深海地球ドリリング計画)における科学掘削船「ちきゅう」の建造	石油開発で実績のある「ライザーパイプ」を搭載することにより、従来の海洋科学掘削の方法では困難な地層の掘削を可能とし、コア(堆積物や岩石などの柱状試料)の採取や、掘削孔を用いた様々な計測を行うことができる。ライザー掘削による、閉鎖循環の確保は、石油やガスの含有が予想される地層における掘削も可能とする。当初、2,500mの水深から海底下6,000mまでの掘削を目指す。これは、掘削水深においては、石油掘削技術の最高レベルと肩をならべ、掘削深度についてはさらに遥かに困難な領域を目指している。将来は、水深4,000mにおいても掘削水の循環を可能とする人類未踏の新しい技術の確立を計画している。「ちきゅう」は、科学史上初めて設計段階から建造された深海科学掘削船であり、さまざまな工夫が施されており、より快適で高度な研究環境の整備が確保される。
雲仙科学掘削プロジェクト	USDP-4(水平掘削が可能な装置)を用いて、雲仙普賢岳の溶岩ドーム下の火道(マグマの通り道)から溶岩を採取するとともに、火道の温度・ガス成分の分析を行った。
メタンハイドレート開発	日本周辺ではメタンハイドレート層までの掘削は、水深500m以深の海域で海底面下数100mの掘削を行わなければならない。そのため海洋石油・天然ガスの掘削技術の応用が検討されており、その技術開発が進められている。メタンハイドレート層を資源目的とした掘削はカナダのマッケンジーデルタと南海トラフのものであり、JOGMECがいずれも主導して行っている。また、コアリングされて掘削リグに回収されるまでに、温度・圧力の変化によって分解してしまうメタンハイドレートは、物性が変わってしまう可能性があるため、JOGMECはPTCS(Pressure-Temperature Coring Sampler: 圧力温度保持コアサンプラー)と呼ばれるコアリング機器を開発し、その改良を続けている。
海底下CO2貯留	将来、大偏距坑井掘削技術、マルチラテラル坑井掘削技術を利用した海底下の帯水層などへのCO2貯留が期待でき、CO2削減技術として注目される。

(出所)www.JAMSTEC.go.jp, www.mh21japan.gr.jp

12

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト (6) 当該技術の利用とインパクト実現プロセス



13

4. まとめ

- 海洋石油開発は、世界的な規模で活動するメジャー(国際石油資本)を中心に行われてきた。日本の開発は限定的である。
- 国の海洋石油開発は、JOGMECにほとんど依存しており、探鉱、開発、生産という3つのステップの中で、特に開発に重点がおかれてきた。
- 公的研究開発・支援は、JOGMECが特許を有し海外の企業で使用されている水平坑井掘削システムの開発、ライフサイクルコストの試算ソフトの開発、及び人材育成による国内企業の掘削技術の向上などを中心に寄与したとみられる。
- 国が自立的に海洋石油開発を行なう能力を保有することはエネルギーの安定供給の面から重要であり、東シナ海での開発が行なえるよう、政策的支援が必要である。また、公的融資、国の資金による探鉱等の基礎調査、インフラ整備が必要である。
- 実現されたインパクトは、経済的なインパクトが最も大きく、経済活動の基盤としての石油の供給や、石油の探鉱・開発への投資の増加が見込まれる。社会的には、石油エネルギーの延命が図られる。国民生活へのインパクトは、電気料金、石油・ガソリンの料金や日用品(石油化学製品の利用)等のコストの安定化といった形で表れている。
- 海洋石油開発から生まれた掘削技術の応用によるインパクト(科学掘削船「ちきゅう」の建造、雲仙普賢岳の科学掘削調査、メタンハイドレートの開発)がみられる。また、今後、掘削技術の応用によるインパクト(海底下へのCO₂貯留)が予想される。

14

4. まとめ

(参考) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

現状と課題

- 国内の石油埋蔵量は限られており、日本の石油の自給率は1%未満である。現在、300m以深の海洋油田は日本に存在しないため研究開発などチャレンジする場が無く、また海外ではメジャーを中心に事業が行われており、日本企業の参画チャンスが限られるため石油開発の経験も少ない。(企業・マネージャー)
- 海洋石油開発には多大な資金が必要であるが、国内の企業は資本力が小さい。(企業・マネージャー)
- 日本独自の人工衛星を利用した石油探査ができていない。(企業・マネージャー)

今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

- エネルギー安全保障を視野に入れた政策の明確化
 - ・ 国がメジャーなどに依存することなく自立的に海洋石油開発を行う能力を保有することはエネルギーの安定供給の面から重要である。(企業・役員)
 - ・ 東シナ海(最大水深200m程度)での鉱業権を資源エネルギー庁に申請しているが、現在許可が下りていない。開発が行えるよう、政策的支援をお願いしたい。(企業・マネージャー)
- 政策に基づく研究開発・支援等
 - ・ FPSOなど日本が得意な分野のコスト削減技術に関する更なる研究開発が重要である。(企業・役員)
 - ・ 海洋石油開発を行えるオペレーター(石油開発会社)を育てることが重要である。(企業・役員)
 - ・ 探鉱にはコストがかかるため、国の資金での基礎調査(地震探査、試掘、探掘など)を期待する。(企業・マネージャー)
 - ・ ビットの製造には特殊鋼が必要であるが、国内での調達が難しくなっている。国内での特殊鋼の安定供給に対する政策的支援を期待する。(企業・役員)
 - ・ 300m以深で使用する掘削リグは200~400億円/基である。掘削リグの購入・修理に多大な費用がかかるため、公的融資の継続を希望する。(企業・役員)
 - ・ 日本の人工衛星による石油探査が可能になるよう国のインフラを整備を期待する。(企業・マネージャー)

3-16 準天頂衛星システム(フロンティア)

(1) 事例分析に当たって

① 対象とした技術の概要

- 準天頂衛星システムとは、衛星を天頂付近に静止させることが物理的に不可能な日本のような中緯度地域において、適切な軌道を設定し、複数の衛星を組み合わせることで、サービスエリアの天頂付近に少なくとも1機の衛星を常時配置するシステムである。
- 具体的には、静止軌道を約45度傾けた軌道に、少なくとも3機の衛星を、軌道面を120度ずつずらして配置し、常に1つの衛星が日本の天頂付近に滞留するシステムを想定している。

② 準天頂衛星システムにより想定されるメリット

本事例調査では、当該技術に関する有識者等へのヒアリング調査を主とし、さらに文献調査・統計データ分析を実施した。

ヒアリング調査の対象を以下に示す。

- 公的機関(文部科学省、総務省)4名
- 公的研究機関(情報通信研究機構、宇宙航空研究開発機構(JAXA)、電子航法研究所)4名
- 企業(準天頂衛星関連1社)5名

(2) 技術動向

測位技術は、日本における社会的な基盤的な技術の1つとして重要性が認識されている。その中で、準天頂衛星システムは、2003年から研究開発が開始され(高精度測位実験システム、高仰角移動体高度通信技術、高精度衛星測位技術、衛星の軽量化・高度化技術等)、2008～2009年には打上げが予定されている。想定されている総事業規模は約1700億円である。

本事業は、官民連携による社会基盤(測位、衛星放送・通信のさらなる高度化)の構築を目指し、国が研究開発と実証実験、民間が事業化を行い、効率的かつ速やかに開発・整備を推進する官民連携プロジェクト体制をとっているという特徴がある。

準天頂衛星システムにより想定されるメリットとしては、GPS衛星の補完(GPS互換信号を送信し、GPS衛星との組み合わせによって、利用可能時間を増加させること)やGPS補強(GPS補正信号や使用可否の情報を送信して、測位の高精度化や高信頼化を図ること)による高精度測位の実現があげられる。また、移動体においても、高層ビルなどの影響によることなく測位や通信の実施が可能となり、山間地やビル影等に影響されず、全国のほぼ100%をカバーする高品質の測位・通信サービスの提供が可能になる。

この背景には、GPSの利用普及による利便性や快適性の向上、測位関連サービスの成長および産業の拡大とともに、国や個人の安心・安全に対する認識の高まり、高精度位置情報に対するニーズの高まり等がある。こうした中で、衛星測位の技術は社会の基盤の1つであり、その技術を日本として持つべきであるといった技術安全保障の考え方から技術開発に取り組んできている。

官民共同の取り組みがなされており、国としては衛星測位サービスの更なる高度化(GPS補完整備)を目標に、段階的に自立性を持った衛星測位システムの構築(国産技術化)により、基盤技術の研究開発と測位基盤の整備の役割を果たしていくとされている。また、民間では、高精度測位サービス(GPS補強)と放送・通信サービスの融合、アプリケーションの進展による新たなビジネス機会の創出を目標としつつ、事業化のための開発整備(サービス事業実施のシステム開発、商用化等)や事業化推進・リスクマネジメント(事業パートナーの発掘等)などを実施していくとされている。

(3) 公的研究開発・支援の位置付け

測位に関する技術は、GPSにおいて実用化されているものの、日本には技術が存在しなかった。一方、測位は、社会の基盤的な技術の1つであり、国産化が重要であるとの認識があった。

そのような背景の下、準天頂衛星システムと必ずしも一体的ではないが、測位関連の研究開発と実証実験を行う取組が、公的研究機関で進められてきている。測位が社会の基盤であり、事業化が容易でないことや

GPS が無償で利用できることなどもあり、研究開発は公的研究開発主導で行われている。ここで得られた成果は、準天頂衛星システムのみならず、衛星関連、地上での位置決めなどにも応用可能となっている。

(大学や公的研究機関における基礎研究の継続・蓄積)

- 水素メーザー原子時計の開発(衛星時刻管理関連の研究開発)が、総務省、情報通信研究機構(NICT)により行われており、世界的で実用化されてきている原子時計とは異なり、短期安定度に優れる国産の原子時計の開発を目指している。水素メーザー原子時計の開発に要する研究開発費の負担や実証実験環境の確保(準天頂衛星への搭載)を、公的支援の中でやっている。

(基盤技術の開発)

- 高精度軌道設計、推定技術は、文部科学省、JAXA により研究開発の取り組みが行われている。衛星の軌道を正確に決める技術の開発、軌道の推定技術は、準天頂衛星システムのみならず他の衛星にも有効活用できる技術(地球観測衛星における正確な位置の把握等)である。高精度軌道決定のための技術開発に要する研究開発費の負担や必要な実証実験環境(ALOS 等)の確保を、公的支援の中でやっている。
- 高精度測位実験システムは、文部科学省、JAXA により研究開発が行われている。これは、測位システム全体の実証を行うための研究開発である。受信機の開発、測位システムの開発などでは、必要に応じて民間関連企業との情報交換等が行われている。測位実験システム全般の開発に要する研究開発費の負担などが公的に行われている。
- 高精度測位補正システムの開発は、国土交通省、電子航法研究所により研究開発が行われている。GPS 信号の誤差要因(衛星時計誤差、衛星位置誤差、電離層遅延誤差、対流圏遅延誤差、マルチパス等)を、現状の水平誤差 11m から 1m 程度とする補正システムを実用化するため、現在はオフラインシステムの開発から、リアルタイムシステムの開発への移行段階にある。そのほか、GPS の補正情報をエンドユーザに伝えるまでのシステム開発を、民間の通信機メーカー等の協力を得つつ実施している。これにより、より精度や信頼性の高い測位情報の提供が可能になる可能性がある。パーソナルナビゲーション、通信と測位が一体となったテレマティクスや防災、国土管理への寄与が期待されている。

(4) 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

GPS 補完および補強に関わるサービスが提供されることによって、以下のインパクトの実現が期待されている。

- 経済的インパクト
 - GPS の測位精度向上と測位可能エリアの拡大によるインパクト。
 - － 輸送の効率化(ナビゲーションによる渋滞緩和、人の移動時間の削減、物流の効果)
[社会的便益 約 20 兆円と予測]
 - － 環境、安心・安全[社会的便益 約 1 兆円と予測]
 - カバレッジおよび利用時間率の向上によるインパクト。
 - － 輸送の効率化
 - － 安心・安全
 - － その他[社会的便益の合計 約 2.4 兆円と予測]
- 社会的インパクト
 - 都市部や山間部での測位が可能。
 - 緊急通報への対応能力向上(早く、正確な場所の確認等)による対応時間の短縮化に伴う安心・安全の向上。
- 国民生活へのインパクト
 - マンナビによる子どもや高齢者等の所在把握。
 - 緊急時の連絡・通報による安心・安全な社会の実現。

(5) 指摘された課題と今後の公的研究開発・支援のあり方に関する意見(参考)

① 技術的課題

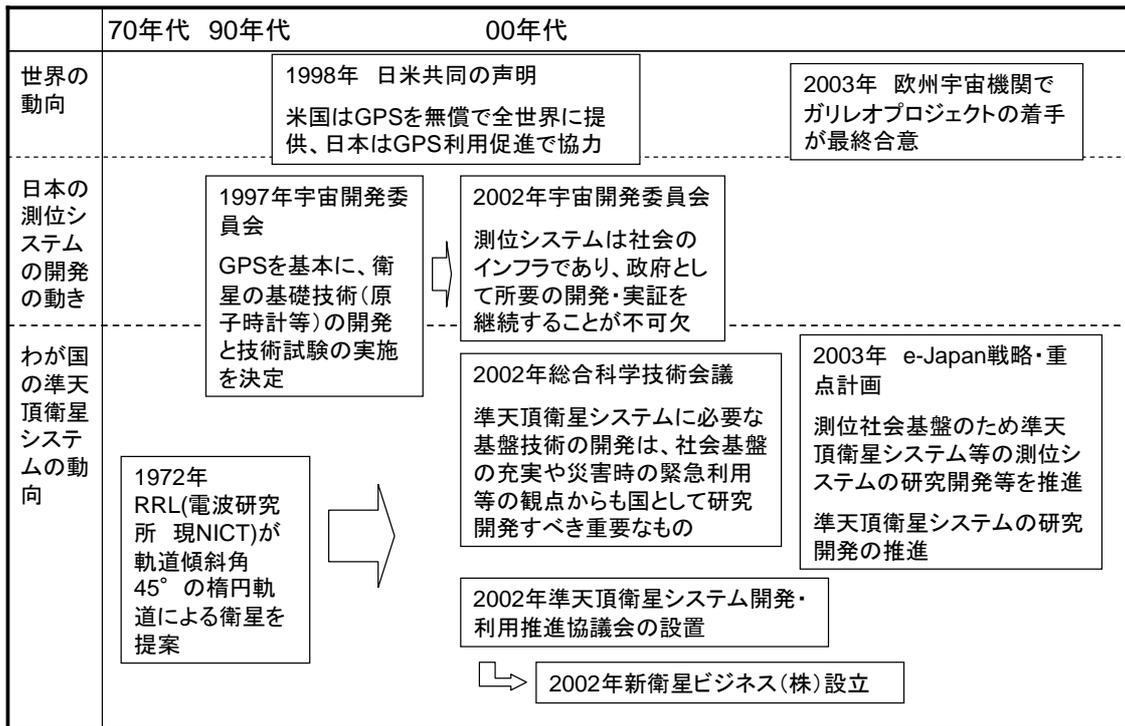
- 官民連携による研究開発と実証研究、事業化が一体となったプロジェクトではあるが、官が4省庁、さらに民間が関与している故に、意思決定、責任の所在があいまいになっている。当初の計画と比較すると、遅れ気味で、実際の打上げ等に向け、決めるべきことが決められていない状況にある。(関係機関・担当者や研究者等)
- 官民連携となっているため、官は官相互と民、民は複数の官との調整が不可欠となっており、速やかに進めていくことができなくなっている。(関係機関・担当者や研究者)
- 国は研究開発と実証研究、民間は事業化を目指しており、それを、同一の衛星で実現しようとしている。研究開発と実証、実用化が共存することで、リスクの問題、予算確保の問題、民間パートナーの確保などが、進めにくくなっている面がある。(関係機関・担当者や研究者)
- 国として、事業化を視野に入れた準天頂衛星システム全体の推進について、明確な意思決定が行われていない状況にあるが、一方では、意思決定そのものができる状況にない。具体的には、準天頂衛星システムのような多分野にわたる「測位」を所管する担当省庁等が、明確ではないことである。(関係機関・担当者や研究者)

② 公的寄与に関する課題

- 準天頂衛星に関わる測位に関する基礎的な技術の研究開発は、公的関与により着実に進展してきている。しかし、準天頂衛星システムの実現に向け、官民連携のプロジェクトとして、実現に対する責任や関与の範囲等が明確になっていないことが、準天頂システム全体の進捗に多大な影響を及ぼしてきている。
- 所管官庁が明確でない、複数の関連官庁がある総合的な研究開発分野において、責任や推進の主体があいまいになり、結果として、全体的な研究開発の進捗に多大な影響を及ぼしている。
- 研究開発と実証、事業化が混在、かつ一体的になる大型研究開発プロジェクトであり、かつ、官民連携型プロジェクトとして、これまでにない取組であるがゆえの産みの苦しみの状況にある。
- 測位関連技術の研究開発が、我が国の安全保障等の目的から重視されていることが、結果としては準天頂衛星システムの推進の障害になっているおそれもある。

1. 技術動向

(1) 準天頂衛星システムの歴史



(出所) 各種資料よりMRI作成

7

1. 技術動向

(2) 準天頂衛星システムの概要

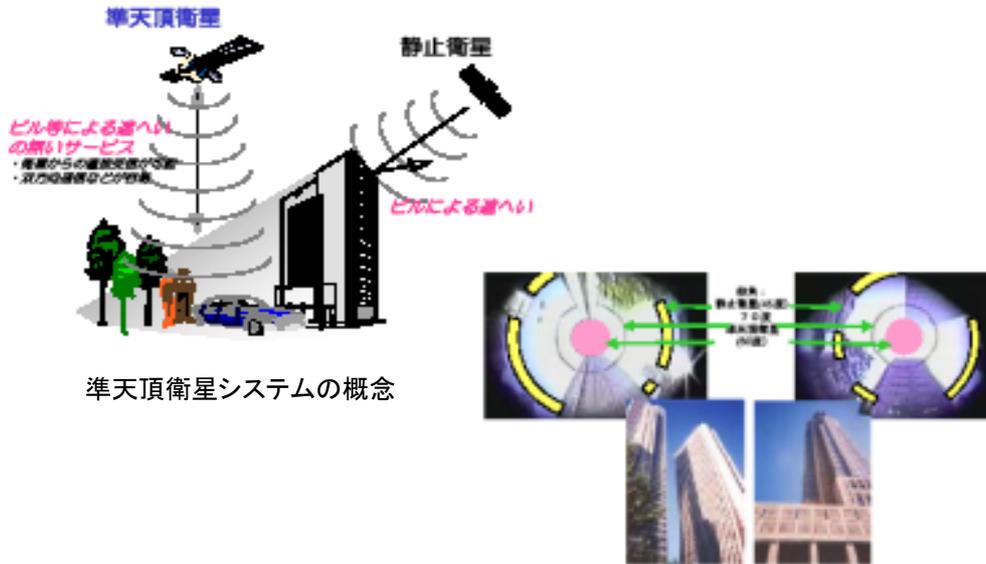
準天頂衛星システムとは	<p>日本のような中緯度地域において、衛星を天頂付近に静止させることは物理的に不可能であるが、適切な軌道を設定し、複数の衛星を利用することで、サービスエリアの天頂付近に少なくとも1機の衛星を配置するシステム</p> <p>具体的には、静止軌道を約45度傾けた軌道に、少なくとも3機の衛星を軌道面を120度ずつずらして配置し、常に1つの衛星が日本の天頂付近に滞留するシステムを想定</p>
メリット	<p>山間地やビル影等に影響されず、全国のほぼ100%をカバーする高品質の測位・通信サービスの提供が可能になる</p> <p>○GPS情報の補完(GPS互換信号を送信し、GPS衛星との組み合わせによって、衛星配置の改善による高精度化や利用可能時間を増加させること)、補強(GPS補正信号や使用可否の情報を送信して、測位の高精度化や高信頼化を図ること)による高精度測位の実現</p> <p>○移動体においても、高層ビルなどの影響によることなく測位や通信の実施が可能</p>
計画(予定)	<p>2003年 研究開発開始(高精度測位実験システム、高仰角移動体高度通信技術、高精度衛星測位技術、衛星の軽量化・高度化技術 など)</p> <p>2004年 開発研究</p> <p>2008~2009年 打上げ</p>
事業規模	<p>想定されている総事業規模 約1700億円</p>
体制	<p>官民連携による社会基盤(測位、衛星放送・通信のさらなる高度化)の構築を目指し、国が研究開発と実証実験、民間が事業化を行い、効率的かつ速やかに開発・整備を推進する官民連携プロジェクト体制</p>

(出所) 各種資料よりMRI作成

2

1. 技術動向

(2) 準天頂衛星システムの概要



準天頂衛星システムの概念

高層ビル街(新宿)において、準天頂衛星システムを活用した場合

(出所)総務省資料より

3

1. 技術動向

(3) 準天頂衛星システム事業の全体像

事業の背景	<p>○GPSの利用普及による利便性・快適性の向上と、測位関連サービスの成長及び産業の拡大</p> <p>○国や個人の安心・安全に対する認識の高まりと高精度位置情報に対するニーズの増大</p>
事業の経緯	<p>準天頂衛星システムに関する事業化は、民間から発意され、測位分野について、公共性の側面から国に呼びかけを行い、官民連携での取組開始</p> <p>衛星測位の技術は社会の基盤の1つであり、その技術を日本として持つべきであるといった技術安全保障の考え方から技術開発に取り組む</p>
国の目標と役割	<p>目標: 衛星測位サービスの更なる高度化(測位補完整備)</p> <p>段階的に自立性を持った衛星測位システムの構築(国産技術化)</p> <p>役割: 基盤技術の研究開発と測位基盤の整備</p>
民の目標と役割	<p>目標: 高精度測位サービス(測位補強)と放送・通信サービスの融合</p> <p>アプリケーションの進展による新たなビジネス機会の創出</p> <p>役割: 事業化のための開発整備(サービス事業実施のシステム開発、商用化等)</p> <p>事業化推進・リスクマネジメント(事業パートナーの発掘等)</p>
期待される効果	<p>官民協力による効率的な技術開発と速やかな実用化</p> <p>新ビジネスの拡大による経済の活性化と国民生活の質の向上</p>

(出所)各種資料よりMRI作成

4

1. 技術動向

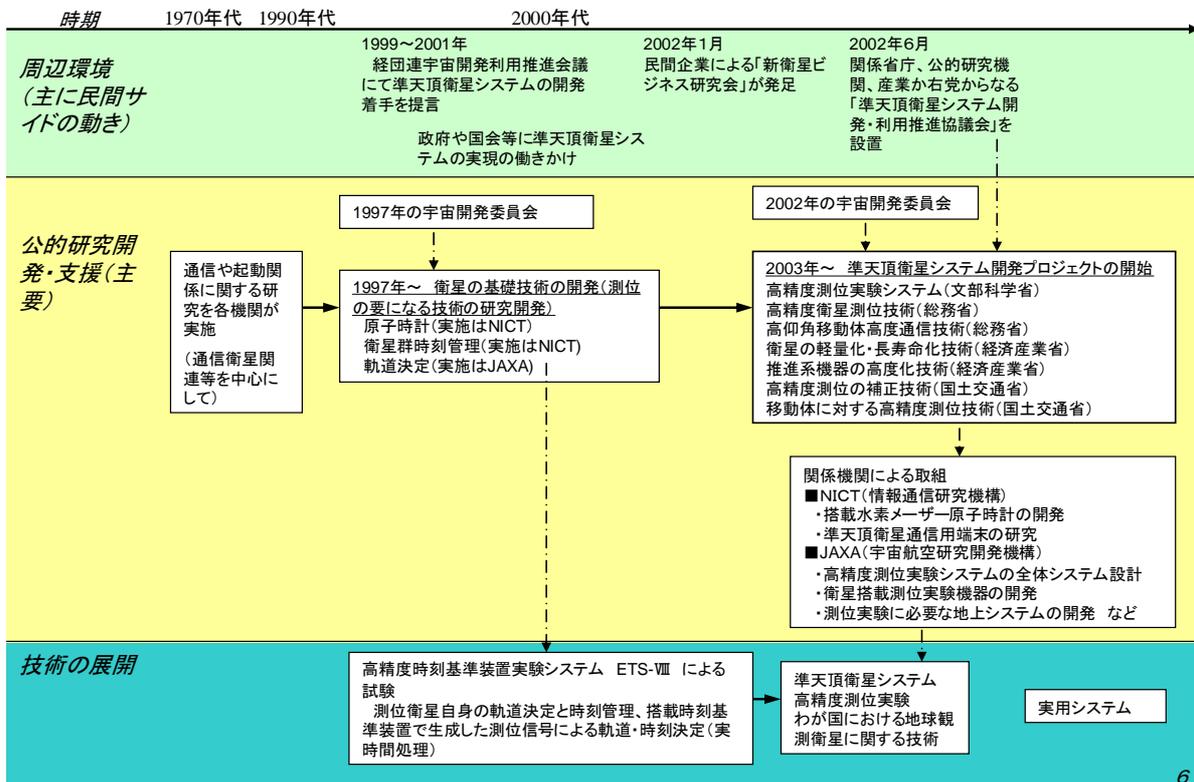
(4) 準天頂衛星システム事業の進捗と課題

<p>事業の進捗状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 国による研究開発の着実な進展 <ul style="list-style-type: none"> 平成16年度予算政府原案において準天頂衛星関連の予算が決定 ・水素メーザー原子時計の開発(長寿命化、耐震道・衝撃特性の向上、小型・軽量化、宇宙環境特性の向上 など) ・測位システム関連の開発(受信機、受信システム等) ■ 民間では準天頂衛星を担う事業体の設立に向け着実な進展 <ul style="list-style-type: none"> 2002年11月 新衛星ビジネス(株)設立 2003年7月 新衛星ビジネス(株)による基本事業計画書を策定 11月 新衛星ビジネス(株)が事業化展開に向け第2次増資を実施 ■ 官民連携による実施に向けた取組の調整が難航 <ul style="list-style-type: none"> 2004年1月 総合科学技術会議にて測位整備運用担当機関の決定先送り 9月 総合科学技術会議が、国は研究・開発・実証を確実に推進、整備・運用のあり方は実証終了までに速やかに決定と方針決定
<p>課題</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 測位運用担当機関の決定(国の測位に関する役割等の明確化、測位システム整備・運用に責任を持つ省庁の決定、官民の役割分担の明確化) ■ システム検討(ミッション要求仕様やシステム要求仕様の確定など) ■ ユーザ開拓による収入の確保と事業性のあるシステムの構築 ■ 事業化に向けた、民間による増資活動の実施

(出所) 各種資料よりMRI作成

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(1) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け



2. 公的研究開発・支援の位置付け

(2) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け

測位に関する技術は、GPSにおいて実用化されているものの、日本には技術がなかった。一方、測位は、社会の基盤的な技術の1つであり、国産化が重要であるとの認識があった。

そこで、準天頂衛星システムと必ずしも一体的ではなく、測位関連の研究開発と実証実験を行う取組が、公的関連機関で進められてきている。研究開発は、測位が社会の基盤であり、そのものの事業化が容易でないことやGPSが無償で利用できることなどもあり、公的研究開発主導で行われ、成果は、準天頂衛星システムのみならず、衛星関連、地上での位置決めなどにも応用可能となっている。

公的研究開発・支援に関する例示(1)

分野(例示)	関連が想定される公的研究開発・支援	公的研究開発・支援の具体的な内容(例示)	寄与の形態や内容等
水素メーザー原子時計の開発(衛星時刻管理関連の研究開発)	総務省、情報通信研究機構(NICT)による研究開発	次世代の測位衛星搭載用原子標準として短期安定度に優れた時計(水素メーザー)の開発 世界的に実用化されてきている原子時計とは異なる国産の原子時計の開発	水素メーザーの開発に要する研究開発費の負担 必要な実証実験環境(準天頂衛星)の確保
高精度軌道設計、推定技術	文部科学省、JAXAによる研究開発	衛星の軌道を正確に決める技術の開発 軌道の推定技術は、準天頂衛星システムのみならず他の衛星にも有効活用できる技術(地球観測衛星における正確な位置の把握等)	軌道決定のための開発に要する研究開発費の負担 必要な実証実験環境(ALOS等)の確保

7

2. 公的研究開発・支援の位置付け

(2) 技術開発の経緯と公的研究開発・支援の位置付け

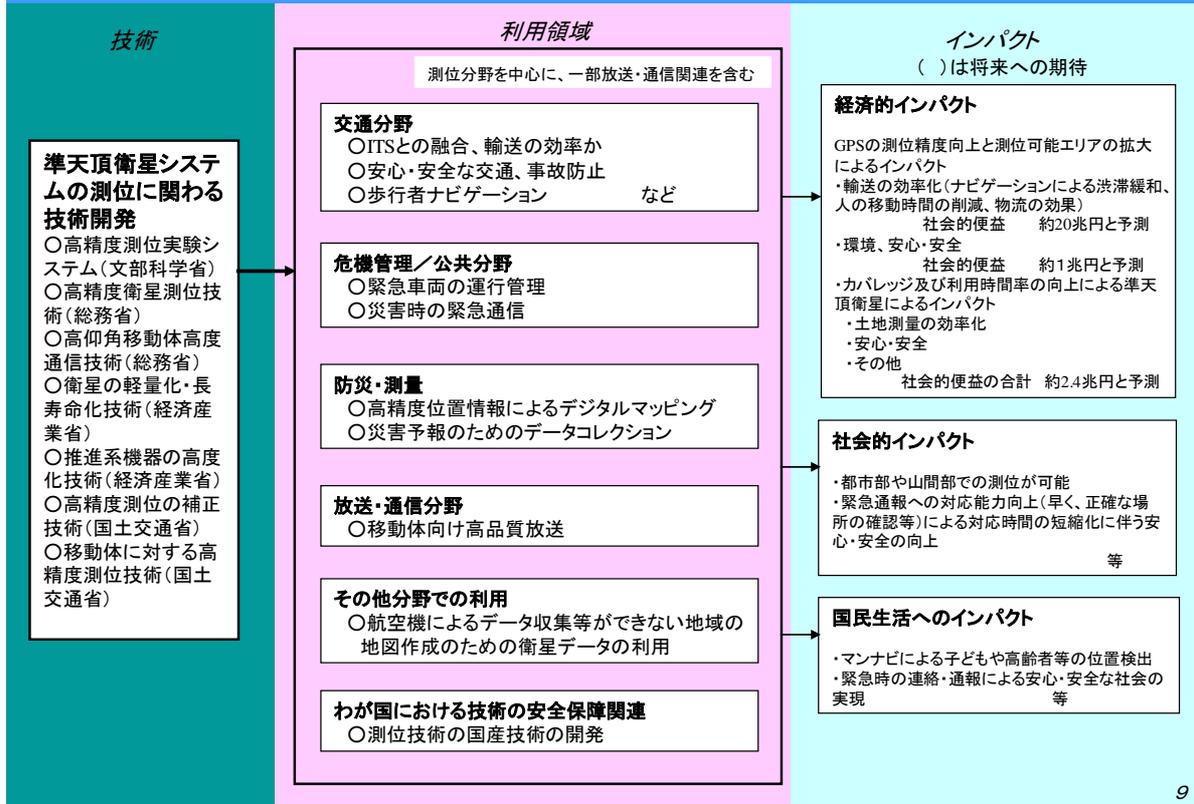
公的研究開発・支援に関する例示(2)

分野(例示)	関連が想定される公的研究開発・支援	公的研究開発・支援の具体的な内容(例示)	寄与の形態や内容等
高精度測位実験システム	文部科学省、JAXAによる研究開発	測位システム全体のシステム実証を行うための研究開発 受信機の開発、測位システムの開発などでは、必要に応じて民間関連企業との情報交換などを行いつつ実施	測位実験システム全般の開発に要する研究開発費の負担
高精度測位補正システムの開発	国土交通省、電子航法研究所による研究開発	GPS信号の誤差要因(衛星時計誤差、衛星位置誤差、電離層遅延誤差、対流圏遅延誤差、マルチパス等)を、現状の水平誤差11mから、1mとするシステムの開発 オフラインシステムの開発の段階から、リアルタイムシステムの開発への移行段階 GPSの補正情報をつくるまでのシステム開発 民間の通信機メーカー等の協力を得つつ実施	より精度が高く、信頼性の高い測位情報の提供が可能 パーソナルナビゲーション、通信と測位が一体となったテレマティクスや防災。国土管理への寄与を期待

8

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

(1) 準天頂衛星システムにより期待される各種のインパクト

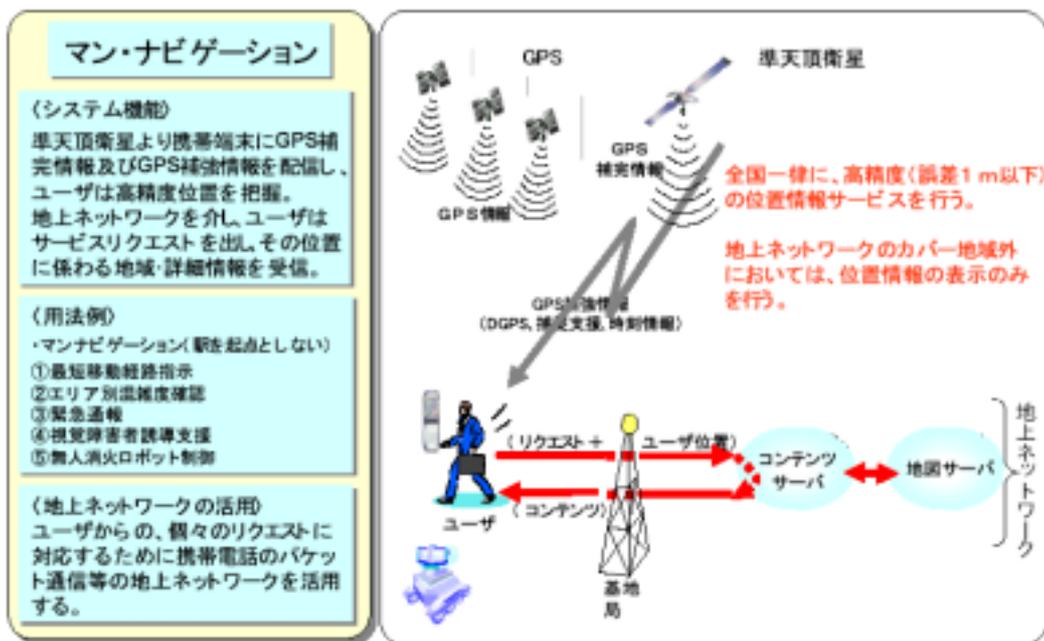


9

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

(2) 準天頂衛星システムにより期待される各種のインパクトのイメージ

アプリケーション事例(マン・ナビゲーションの場合)



(出所) 総合科学技術会議 宇宙開発利用専門調査会 測位分野検討会(第2回)資料

10

3. 技術の経済・社会・国民生活へのインパクト

(3) 衛星測位の利用状況と準天頂衛星システムによる効果(例)

現在のGPS利用状況	準天頂衛星システムによる効果
自動車 ○カーナビゲーション ・GPS、自立航法、マップマッチングを組合せたシステムとなっているが、蓄積された誤差修正にはGPSが必要。 ・カーナビ出荷台数累計約1,359万台(2003年8月時点) ○運行管理 ・GPSからの測位情報と携帯電話網を使用した通信手段により、宅配業者やタクシー業者等の業務車両の運行管理を実施。 ・あるサービスでは端末契約数が3,000台を超え、順調に推移。	①測位精度向上 ②測位可能エリア拡大。GPS利用者にとって利便性が高まる。 ③通信・放送機能を用いて提供される補正情報を受けることで数十cmという高精度測位が可能になる。車線識別などが必要となる次世代カーナビ等での利用が期待される。 ①測位精度向上により、緊急車両や道路端と自車の距離を認識する精度が求められる特殊車両(除雪車、路面清掃車等)での利用が期待される。 ②測位可能エリア拡大により、従来は困難であった都市部や山間部での利用が可能になる。
鉄道 ほとんどが研究開発段階にあり、実用としてはJR貨物によるトラッキング、新幹線保守用車両の通信同期等、数的に少ない。位置検出や運行管理にGPSは利用されていないが、模擬準天頂衛星による列車運行管理の効率化の研究が行われている。	①測位精度向上 ②測位可能エリア拡大 により、以下のような利用候補が考えられる。 (1)貨物のトラッキング (2)列車走行位置検出 (3)路面電車の運行管理 ユーザメリットは、 ・測量作業の省力化 ・地上信号システムの削減 ・保守管理コストの削減 また、トンネル等の不感地帯を補完するセンサ等との組み合わせにより、さらに利用範囲は広がる。

11

4. まとめ

- 測位技術は、日本における社会的な基盤的な技術の1つとして重要性が認識され、その高度化のために準天頂衛星システムが有効であることが認識され、国として、その研究開発や実証の取り組みが行われてきている。そのため、官が測位に関する研究開発と実証、民がその実用化を担うという役割分担で推進されてきた。
- 測位関連の研究開発は、公的関与のもと、公的な研究開発機関が主体になり着実に推進されてきており、成果も上がってきている。
- 準天頂衛星システムは、測位関連の研究開発は着実に進み、成果が上がってきているものの、衛星の打上げから実証、整備、運用等に関わるシステム全体の促進(実現)に関わる側面で、官民の連携プロジェクトであり、官側では測位関連のミッションを有する主体が明確でない現状などもあり、大きな問題が発生し、本システムそのものの実現が危惧される状況にある。
- 研究開発や実証研究、事業化が一体的になっているシステムであること、政策とビジネスが複雑に絡み合っているシステムであること、主体が明確でないことなども、本システムの推進の障害になっている。
- 当該システムは、社会のインフラ(GPS情報の補完と補強による測位精度の向上等)となる技術、システムとして経済・社会および国民生活に幅広いインパクトを発揮する可能性がある。インパクトを及ぼすことが期待されている分野も、交通、危機管理、防災・測量、放送・通信など多分野にわたっている。
- 具体的なインパクトとしては、交通分野では、ITSとの融合や輸送の効率化、歩行者ナビゲーション、危機管理分野では、緊急通報への対応や災害時の緊急通信、防災・測量分野では、高精度位置情報によるデジタルマッピング、土地測量の効率化、その他分野では、精密な地図の作製、さらに、わが国の測位技術の発展による安全保障への貢献などが期待されている。

12

4.まとめ

(参考) 指摘された課題・今後の研究開発・支援のあり方等についての意見

①全般的課題

- 官民連携による研究開発と実証研究、事業化が一体となったプロジェクトではあるが、官が4省庁、さらに民間が関与している故に、意思決定、責任の所在があいまいになっており、当初の計画と比較すると、遅れ気味になっており、実際の打ち上げ等に向け、決めるべきことが決められていない状況にある。(関係機関・担当者や研究者等)
- 官民連携となっているため、官は民及び官相互、民は複数の官との調整が不可欠となっており、速やかに進めていくことができなくなっている。(関係機関・担当者や研究者)
- 国は研究開発と実証研究、民間は事業化を目指しており、それを、同一の衛星で実現しようとしている。研究開発と実証、実用化が共存することで、リスクの問題、予算確保の問題、民間パートナーの確保などが、進めにくくなっている面がある。(関係機関・担当者や研究者)
- 国として、事業化を視野に入れた準天頂衛星システム全体の推進について、明確な意思決定が行われていない状況にあるが、一方では、意思決定そのものができる状況にない。具体的には、準天頂衛星システムのような多分野にわたる『測位』そのものを所管する担当省庁等が、明確ではないことである。(関係機関・担当者や研究者)

②今後の研究開発・支援のあり方についての意見

- 準天頂衛星に関わる測位に関する基礎的な技術の研究開発は、公的関与により着実に進展してきている。しかし、準天頂衛星システムの実現に向け、官民連携のプロジェクトとして、実現に対する責任や関与の範囲等が明確になっていないことが、準天頂システム全体の進捗に多大な影響を及ぼしてきている。
- 所管官庁が明確でない、複数の関連官庁がある総合的な研究開発分野において、責任や推進の主体があいまいになり、結果として、全体的な研究開発の進捗に多大な影響を及ぼしている。
- 研究開発と実証、事業化が混在、かつ一体的になる大型研究開発プロジェクトであり、かつ、官民連携型プロジェクトとして、これまでにない取組であるがゆえの産みの苦しみの状況にある。
- 測位関連技術の研究開発が、我が国の安全保障等の目的から重視されていることが、結果としては準天頂衛星システムの推進の障害になっているおそれもある。

