

革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）
終了時評価報告書

令和２年１月２３日

総合科学技術・イノベーション会議

目次

1. ImPACT 実施概況	2
2. ImPACT プログラムの設計の評価	7
3. プログラムマネジメントの評価	12
4. プログラム研究成果の評価	33
5. ImPACT プログラムの効果（インパクト）の評価	43
6. 各プログラムの成果概要	60
1) 伊藤プログラム	60
2) 合田プログラム	61
3) 佐野プログラム	62
4) 佐橋プログラム	63
5) 山海プログラム	64
6) 鈴木プログラム	65
7) 田所プログラム	66
8) 藤田プログラム	67
9) 宮田プログラム	68
10) 八木プログラム	69
11) 山川プログラム	70
12) 山本プログラム	71
13) 白坂プログラム	72
14) 野地プログラム	73
15) 原田（香）プログラム	74
16) 原田（博）プログラム	75
7. 参考資料	76

1. ImPACT 実施概況

1) 創設の経緯と目的

革新的研究開発推進プログラム（Impulsing PARadigm Change through disruptive Technologies (ImPACT)）は、将来の産業や社会に大きな変革をもたらし、これまでの常識を覆すような革新的なイノベーションを創出することを目標として、平成 25 年度補正予算に 550 億円を計上して「独立行政法人科学技術振興機構法」を一部改正し、科学技術振興機構（JST）に設置された革新的研究開発基金（設置期限平成 30 年度末）から経費を支出される時間限的な研究開発プログラムである。

ImPACT では、平成 21 年度から 25 年度に実施された最先端研究開発支援プログラム（Funding program for World-leading Inovative R&D on Science and Technology (FIRST)）の制度的優位点を引き継ぎつつ、ハイリスク研究の推進により非連続的なイノベーションの創出に成功を収めている米国 DARPA（国防高等研究局）の仕組みも参考としている。すなわち、柔軟な研究計画の見直しや予算執行を可能にする研究費の基金化、研究者が研究開発に専念できるように研究支援担当機関の設置、といった FIRST の利点と、DARPA で成功を収めたプログラム・マネージャー（PM）がプログラムを立案し、企画・遂行に大きな裁量を与える PM 方式を融合させた。①失敗を恐れず、ハイリスク・ハイインパクトな研究開発を推進すること、②そのような大胆かつチャレンジングな研究開発の推進を促すため、公募で選ばれた PM にプログラムの企画・立案、プログラム実現に必要な研究機関のキャスティング、それら研究機関への予算配分等に関する権限を委ねることが大きな特徴である。

2) 実施体制

総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）の下、「革新的研究開発推進会議」（以下推進会議という）、「革新的研究開発推進プログラム有識者会議」（以下有識者会議という）、レビュー会の 3 会議体を開催して、ImPACT プログラムの着実な推進を図った。各会議体の概要を表 1-1 に示す。

表 1-1 ImPACT プログラムの実施に係る会議体

会議体	構成員	概要
推進会議	内閣府特命担当大臣（科学技術政策担当）、科学技術政策を担当する内閣府副大臣及び内閣府大臣政務官並びに CSTI 有識者議員	プログラムの基本的な方針、PM 及び 研究開発プログラムの選定、フォローアップ等についての審議・検討
有識者会議	CSTI 有識者議員及び外部有識者 当初：久間座長、橋本・原山座長代理 H30. 3～橋本座長、上山座長代理	推進会議の下、PM 及び研究開発プログラムの選定、PM の評価及び進捗管理等の審議・検討
レビュー会	CSTI 有識者議員及び外部有識者（ImPACT アドバイザー）	有識者会議における研究開発プログラムの選定及び PM のプログラム進捗管理に資するために、PM からのヒアリング等を実施

各会議体の開催状況を表 1-2 に示す。

表 1-2 各会議体の開催状況

会議体	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度
推進会議	10	8	8	5	2
有識者会議	7	8	10	14	5
レビュー会	7	13	14	9	0

3) PM の選定

総合科学技術会議が設定した 5 つのテーマ

1. 制約からの解放とものづくり力の革新 「新世紀日本型価値創造」
2. 生活様式を変える革新的省エネ・エコ社会の実現 「地球との共生」
3. 情報ネットワーク社会を超える高度機能化社会の実現 「人と社会を結ぶスマートコミュニティ」
4. 少子高齢化社会における世界で最も快適な生活環境の提供 「誰もが健やかで快適な生活を実現」
5. 人知を超える自然災害やハザードの影響を制御し、被害を最小化 「国民一人一人が実感するレジリエンスを実現」

に対して PM の公募を 2 回（平成 26 年 3 月、平成 27 年 4 月）行った。

表 1-3 テーマ別の応募件数、採択件数

テーマ		1.	2.	3.	4.	5.	計
1 次募集	応募	55	15	29	49	30	180*
	採択	3	2	1	5	1	12
2 次募集	応募	33	5	12	12	14	76
	採択	1	0	1	1	1	4

（* その他、1 次募集において分類が難しい案件が 2 件）

- ・ 1 次募集：印刷した書類を提出。概要書面と詳細書面で提出期限をずらすことにより、応募・選考の労力を削減。公募要領と応募書類の英語版も準備して、外国人の応募にも便宜を図った。
- ・ 2 次募集：1 次募集と比較して公募期間が長いので、応募書類を一括してアップロードすることにより、応募の労力をさらに削減。公募要領と応募書類の英語版も同様に準備。

表 1-4 1 次公募時における公募・PM 決定にいたるスケジュール

平成 26 年 2 月 14 日	総合科学技術会議が ImPACT 運用基本方針決定 5 つのテーマ公表
3 月 7 日	公募開始
3 月 10 日～4 月 9 日	パブリックコメント募集 (意見総数 44 件、ImPACT 制度、運用、実施内容等)
3 月 11 日～3 月 19 日	説明会開催(つくば、東京、京都、大阪、東北、九州、名古屋)
3 月 31 日	概要書面提出期限、180 件の応募
4 月	全体俯瞰レビュー(11 名)による概要書面審査 (ImPACT の制度主旨との整合性を審査)
4 月 24 日	詳細書面提出期限
4 月 24 日	第 3 回有識者会議において、詳細書面審査対象 127 件を決定
4 月～5 月	全体俯瞰レビュー及び技術レビュー(24 名)による詳細書面審査 (PM の資質・実績、構想内容の妥当性(技術評価)を審査)
5 月 20 日	第 4 回有識者会議において、面接審査対象 31 件を決定
5 月 26 日～5 月 28 日	有識者会議構成員及び全体俯瞰レビューによる面接審査
6 月 12 日	第 4 回推進会議において、12 名の PM 採用案を決定
6 月 24 日	第 2 回 CSTI において PM を決定

表 1-5 2 次公募時における公募・PM 決定にいたるスケジュール

平成 27 年 4 月 17 日	公募開始
6 月 5 日	提案書提出期日、76 件の応募
6 月 15 日	有識者会議構成員による概要レビュー(ImPACT の制度主旨との 整合性を審査)、技術ヒアリング対象 33 件を決定
6 月～7 月	技術レビュー(31 名)による書面審査(技術的確認)
7 月 9 日	第 11 回有識者会議において、面接審査対象 31 件を決定
7 月 13 日～7 月 14 日	有識者会議構成員及び俯瞰レビュー(7 名)による 1 次面接審査 (構想内容、構想内容、人物、視点)、2 次面接対象 5 件を決定
7 月 28 日～7 月 29 日	有識者会議構成員による 2 次面接審査(人物の再確認)
9 月 3 日	第 14 回推進会議において、4 名の PM 採用案を決定
9 月 18 日	第 11 回 CSTI において PM を決定

4) 研究開発プログラムの作りこみ

第 1 次募集においては、平成 26 年 7 月 15 日～10 月 14 日に 4 回のレビュー会を開催し、研究開発プログラムの作りこみを行った。すなわち、PM による報告を CSTI 有識者議員が非公開でレビューすることにより、研究費配分額、研究開発構想の深化、研究開発機関の選定を検討した。

以上の検討を受けて作成された研究開発プログラムの全体計画が、10 月 2 日の第 7 回推進会議、10 月 30 日の第 9 回推進会議において承認され、研究費配分額の通期総額(概算額)は 1 プログラム当たり 29.7 億円～40 億円となった。

第 2 次募集においては、平成 27 年 10 月 2 日～2 月 24 日の 5 回にわたり、作りこみのた

めのレビュー会を開催し、CSTI 有識者議員に加えて外部有識者である ImPACT アドバイザー（参考 1）がレビューに参加した。その結果、研究開発プログラムの全体計画が、平成 27 年 10 月 1 日、平成 28 年 2 月 4 日、3 月 3 日にそれぞれ開催された第 15、18、19 回推進会議において承認された。研究費配分額の通期総額（概算額）は各プログラム 15 億円となった。

5) レビュー会による進捗管理

研究内容やその方向性の報告、研究開発機関の追加選定等の進捗管理のためのレビュー会は、平成 27 年 1 月から平成 29 年 8 月まで非公開で 27 回開催された。PM 一人当たり 5～10 回（第 1 次募集）、2～4 回（第 2 次募集）となる。当初は有識者議員のみで助言していたが、第 2 次募集の PM の作りこみ時から ImPACT アドバイザーも参加した。各年度の後半に集中してレビュー会を開催することにより、次年度以降の研究開発プログラムの見直しに反映できるようにした。

推進会議において承認された研究費総額の変更を表 1-6 に示す。

表 1-6 研究費配分額（億円）の通期総額の当初決定額と最終配分額

PM	伊藤	合田	佐野	佐橋	山海	鈴木	田所	藤田
当初決定額	35	30	30	40	34.9	30	35	34
最終配分額	48.5	29.51	35.3	45.27	34.9	30	36	34.14
PM	宮田	八木	山川	山本	白坂	野地	原田香	原田博
当初決定額	30	29.7	30	30	15	15	15	15
最終配分額	26.8	29.7	32.8	33	19.9	17.5	16	23.17

網掛は 2 次募集によるプログラム（以下同様）

6) プログラム進捗状況評価と制度検証の実施

平成 29 年度は、従来の進捗管理方法に代わり、プログラム内容に精通した外部専門家（技術ヒアリング専門家）を各プログラム 3 名選任して（参考 2）、その意見を取り入れた。すなわち、各 PM がプログラムの進捗とマネジメントの状況をそれぞれ自己評価して、当該情報等を基にプログラム毎に技術ヒアリング専門家による技術ヒアリングを原則対面で行った。これを受けて、平成 29 年 8 月 29 日から平成 30 年 1 月 29 日までレビュー会を計 8 回開催し、技術ヒアリング専門家の意見も参考に S, A, B, C の 4 段階のプログラムの進捗状況評価を行うとともに、PM マネジメントに関する評価も行い、その結果を平成 30 年 2 月 22 日の第 37 回有識者会議に報告した（表 1-7）。

表 1-7 平成 29 年度レビュー結果（数字はプログラム数）

	S	A	B	C
進捗状況評価	1	5	9	1
マネジメント評価	2	8	4	2

また、ImPACT の制度主旨に照らし、制度的な課題やこれまでの運用状況等を検証し、ImPACT 終了後の関連する研究開発の推進に資することを目的に、ImPACT アドバイザーと制度評価に関する専門家等による ImPACT 制度検証チーム（参考 3）を設置した。

PM、PM 補佐、中核的研究者、JST 職員を対象に ImPACT に関するアンケートを行い、平成 29 年 11 月 6 日～平成 30 年 2 月 16 日まで計 5 回の会合を開催して検討を行い、「革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）に係る制度検証報告書」（参考 4）として取りまとめ、第 37 回有識者会議に報告した。この中で、ImPACT の制度的特長及び改善方向を 9 項目に分けて提言を行った。

7) PM による最終評価報告書の作成とプログラム評価委員会の開催

第 35 回推進会議における ImPACT の終了時評価方針の決定を受けて、各 PM は終了時評価報告書を作成し、「PM が実施管理を行った研究開発プログラム（研究成果）に関する評価」及び「PM 自身の活動に関する評価」について、自己評価を行った。これを受けて、平成 29 年度の技術ヒアリング専門家を基本に、各プログラム 4～5 名の外部専門家によるプログラム評価委員会（参考 5）を設置した。プログラム評価委員は事前に提出された終了時評価報告書を書面審査するとともに、平成 31 年 2 月 5 日～4 月 15 日にそれぞれ開催された PM 側からのヒアリングと委員の評議結果をもとに、研究成果の評価を行った（参考 6）。

8) プログラム終了後の追加調査の実施

CSTI 有識者議員から、主にプログラム終了後の研究活動の継続性について調査を行うべきとの指摘があったため、各プログラムの PM 及び参画機関の研究開発責任者を対象に令和元年 10 月に追加調査を行った。ImPACT プログラムに関するアンケート調査と研究開発後の論文発表や社会実装の取り組み、人材育成の状況等について、PM 全 16 名と参画研究機関の研究開発責任者 249 名から回答を得た（参考 7）。プログラム委員会評価結果と追加調査結果を踏まえて、外部専門家による ImPACT 終了時評価ドラフト作成ワーキンググループ（参考 8）を設置して、終了時評価報告書案の作成を行った。

2. ImPACT プログラムの設計の評価

1) ImPACT のプログラム設計

ImPACT プログラムは内閣府が主導するものとして、これまでの他のプログラムにはない特徴を組み込み、そのマネジメントの方法を他プログラムへも波及させていくこととしていた。プログラム設計の特徴とその課題点は以下のようにまとめられる。

① 内閣府主導によるテーマ設定と公募

FIRST は、各省庁の所掌にとらわれない分野横断的かつ多様な研究開発課題を採択し研究分野は特に限定しないものとされたが、ImPACT では総合科学技術会議が設定した5つのテーマに対して、PM を募集することとした。

ImPACT の制度設計にあたり参考とした DARPA においては、PM は DARPA 職員であり、公募されるものではない。また、プログラム構想も、DARPA 職員である PM により策定され、公募されるものではない。日本ではこのような PM 制度も人材も存在しなかったため、ImPACT は独自の制度設計として、PM と研究開発構想を一体として公募することとした。これにより、「PM の資質・実績」と「研究開発プログラム構想」という異なる視点を合わせて選考を行う必要が生じた。

設定されたテーマは、「多様な技術的アプローチや斬新かつ飛躍的な提案も受け入れられるよう、大括り化して簡素な表現ぶり」とされたが、一方で「具体的な成果がイメージしにくく、関係者の関心や期待を呼び込みにくい」（制度検証報告書）という指摘もあった。

② 目標設定：産業や社会のあり方に大きな変革をもたらす革新的な科学技術イノベーションの創出

ImPACT では、我が国が直面する深刻な社会経済的課題を克服し、激しい国際競争に打ち勝つための非連続的イノベーションの実現が期待されていた。

しかし、特に宇宙や原子力といったビックサイエンスでは、プログラムの研究開発成果は要素技術に留まるため、全体システムが完成し社会変革が実現するまでに相当な時間が必要となる。医療分野でも規制やガイドラインへの対応が必要である。5年未満というプログラム期間のなかで、研究開発から事業化・社会実装、そして産業や社会のあり方変革という段階のどこまでを求めているのかは不明瞭である。

また、仮に主たる目標が個々の科学技術的課題の研究開発に留まるのであれば、将来的な社会変革につながるロードマップの明確化や、実装のための実証、課題点の把握・分析、標準化や関連する規制見直しのための交渉活動などの各種の取組をどの程度までプログラム期間で求めているのかも明瞭ではなかった。

③ ハイリスクを許容するプログラム運営

社会変革をもたらすイノベーションを推進し、「イノベーションに最も適した国」、「起業精神に満ちあふれた国」を実現するために、ハイリスク・ハイインパクトな課題を採択することが制度の仕組みとして明確にされた。実際、この点は相当に意識されていたが、チャレンジに伴う失敗をいかに許容するか、という点について、明示的な基準が示されていたとは言えず、評価者の判断に負うところが多かった

2) 他の大型研究プログラムとの違い

① SIP との違い

同時期に創設された内閣府主導のプログラムである戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）との違いとしては、SIP が「府省横断・産学官連携により、基礎研究から実用化・事業化までを一気通貫で推進する」ことを主目的としているのに対して、ImPACT は「産業や社会に大きな変革をもたらすハイリスク・ハイインパクトな挑戦的研究開発を推進する」ことを主目的としている。つまり、SIP は明確な出口戦略がある課題が対象であるのに対して、ImPACT では失敗を恐れずに破壊的イノベーションに取り組むことが期待されている。

② JST の戦略的創造研究推進事業との違い

ERATO、CREST、ACCEL 等の JST の戦略的創造研究推進事業は、日本が直面する重要な課題の達成に向けた基礎研究を推進し、科学技術イノベーションを創出することを目的とした事業である。ImPACT とは、イノベーション創出を目的とするところに共通点があるが、基礎研究に特化している点が異なる。また、戦略的創造研究推進事業では領域ごとに研究総括を置き、そのもとで公募が行われる形態が主であるが、ImPACT は PM が研究開発実施者をキャスティングし、実施者間の連携体制を設計する。つまり、PM の構想を実現するための実施体制を PM が組むことができるなど、PM の権限が強いことに特徴がある。

3) 研究参加者のプログラム構造への評価

追加調査において、ImPACT が内閣府主導のプログラムであることであることの利点について、PM 及び PI から回答を求めた（表 2-1）。

表 2-1 ImPACT が内閣府主導のプログラムであることの利点

選択肢（複数選択可）	全体		大学・研究機関		企業	
CSTI の司令塔機能に直結している信頼感	90	33.96%	63	32.64%	27	37.50%
重点課題の設定と戦略的な資源配分	184	69.43%	135	69.95%	49	68.06%
府省横断的な課題設定	109	41.13%	87	45.08%	22	30.56%
国家戦略と合致したプログラムの実施	139	52.45%	106	54.92%	33	45.83%
産業界全体を巻き込んだプログラムの実施	165	62.26%	107	55.44%	58	80.56%
規制・制度改革も視野	65	24.53%	48	24.87%	17	23.61%

SIP とのプログラム設計の違いを反映して、「府省横断的な課題設定」をあげる回答は、特に企業において低く、「規制・制度改革に対する期待」もセクターを問わず低い。一方で、「産業界を巻き込んだプログラムの実施」については、特に企業において非常に高く、社会実装を重視したプログラムと理解されていた。「重点課題の設定と戦略的な資源配分」に期待する回答も高いが、大括り化したテーマ設定もあり「国家戦略と合致したプログラム実施」を挙げる回答は半数程度であった。

4) プログラム設計の論理構造

以上の点をふまえ、ImPACT プログラムのロジックモデルを整理すると、以下のように考えられる。このようなロジックモデルがつながる構造が設計されていたかが論点として指摘できる。

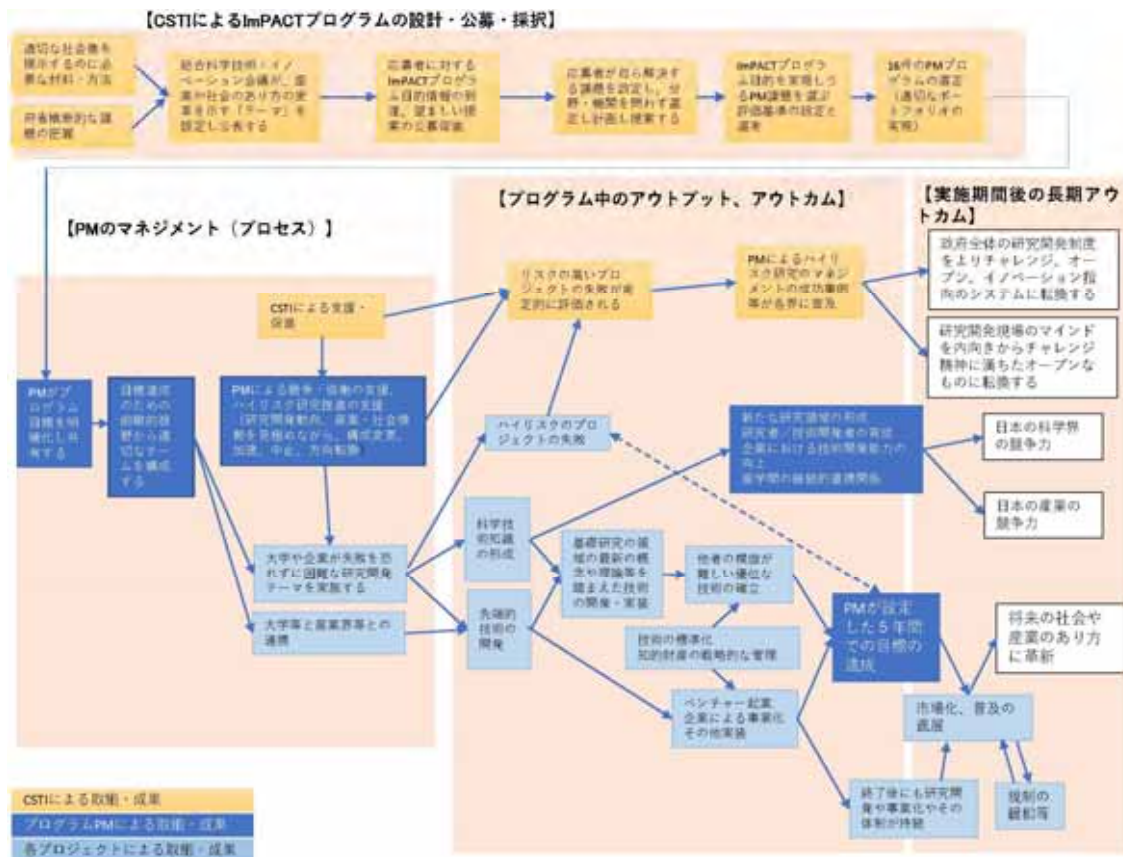


図 2-1 ImPACT プログラムの論理構造

ImPACT プログラムは大きくは「将来の社会や産業のあり方に革新をもたらす」とことと、「研究開発現場や政府の制度をよりチャレンジ精神に満ちたものに転換する」という二つの目的が重視されている。

しかし、その運用の仕方によっては、リスクの高い研究を実施するということと、5 年間という短期間で社会の革新への見通しをつけることを追求することには、コンフリクトが生じる。リスクの高い研究を実施することにより、たとえば半数程度のプロジェクトが失敗することも可能性としては存在しうる。しかし、その一方で複数のプロジェクトを統合した上での社会変革への見通しをつけなければならないということになる。その解消のためには、失敗をすること自体は各プログラムにおいて許容されており、その中でいくつかのものが社会変革につながる見通しができ、拡大していくようなマネジメントを明確に打ち出さないといけないが、そのようなマネジメントの支援の仕組みやプログラムに対する評価設計ができていたかは不明瞭である。

また、ハイリスクの研究を促す良いマネジメントが実現された際に、それをモデルとして普及させていくことでチャレンジ精神に満ちたシステムに転換していくことが望まれるが、

それを実現するための仕掛けも明確ではない。

将来の社会や産業のあり方への革新は長期的なアウトカムとして想定されるものであるが、プログラム期間中のアウトカムとしてどこまでが求められていたのかも不明瞭である。本来であればプログラムごとにロジックモデルを当初に作成し、プログラム終了時点のアウトカムと長期的なアウトカムを明確にしたほうが、混乱が生じにくい。また、将来的に社会や産業のあり方の革新につながるためには、その前に、事業化や社会実装の取組を行い、普及がなされることが必要であるが、知財の戦略的なマネジメントや標準化の支援、事業化の支援についても仕掛けとしては明確でなく、各プログラムに委ねられていた傾向もある。これらの支援の仕掛けがなければ、ロジックはつながりにくい。

さらに、その前段にある、CSTI によるテーマ設定がいかに適切な情報を入手して行われたのか、そのもとで適切な公募を促進する仕掛けがあったのか、選定されたプログラム群が全体として CSTI の目指す社会のあり方の革新を実現するのに適切なポートフォリオとなっているかが明示的に検討されていたのか、等の設計段階についても、より具体的なマネジメントが行われれば、ロジックが強化されていたと考えられる。

3. プログラムマネジメントの評価

1) 目標設定や研究計画の妥当性

総合科学技術会議が、我が国の産業力を飛躍的に高め、直面する深刻な社会経済的な課題を克服するという観点から、5つのテーマを設定した。このテーマの下、16名のPMが以下に示す目標を掲げた。

1. 制約からの解放とものづくり力の革新「新世紀日本型価値創造」

- ・伊藤プログラムは、「ポリマーをタフネス化して、燃料電池電解質膜・Li電池用セパレータの超薄膜化、車体構造用樹脂・透明樹脂の強靱化及びタイヤの薄ゲージ化を実現し、究極の安全性・省エネ自動車の実現など、材料から世の中を変えること」を目標に掲げた。さらにコンセプトカーを作り、実物大で価値実証を行う高い目標を追加した。

- ・合田プログラムは、「細胞を高精度・迅速に自動で選抜する技術を実現することで、再現性が困難であった生命現象の効率的な利用を可能にし、セレンディピティ（偶然で幸運な発見）を計画的に創出する革新的細胞検索エンジンの開発」を目標に掲げた。

- ・鈴木プログラムは、「天然クモ系の物性を上回る人工構造タンパク質素材の設計・製造の実現を目指し、開発した素材を工業用材料として適用するための加工技術開発及び製品化試作を進めることで、枯渇資源からの脱却によるサステイナブルなものづくりの実現」を目標に掲げた。

- ・原田（香）プログラムは、「ヒトや動物の代わりに被験体となるセンサ付の精巧な人体モデルを開発し、超スマート医療を実現すること」を目標に掲げた。

2. 生活様式を変える革新的省エネ・エコ社会の実現「地球との共生」

- ・佐橋プログラムは、「現行の揮発性エレクトロニクスから成るコンピュータ技術を、不揮発性スピントロニクスを駆使したコンピュータ技術へと革新し、充電ストレスのない快適なライフスタイルと大規模災害・長期間停電時でも情報にアクセス可能な安全安心のIT社会の実現」を目標に掲げた。

- ・藤田プログラムは、「長寿命核分裂生成物を分離回収して、短寿命核種や安定核種に核変換するために必要な技術を確認し、高レベル放射性廃棄物を資源化するプロセス概念の構築」を目標に掲げた。

3. 情報ネットワーク社会を超える高度機能化社会の実現

「人と社会を結ぶスマートコミュニティ」

- ・山本プログラムは、「量子情報を取扱うマシンを現代のコンピュータの一部として接続した量子人工脳を開発し、現代コンピュータが不得意とする情報処理を行う外部ユーザー向けサービスを社会に提供すること」を目標に掲げた。

・原田（博）プログラムは、「超ビッグデータプラットフォーム」の実現、医療・介護・社会リスク管理アルゴリズムによる地域医療提供システムの効率化や予見先手的医療サービスのスキーム提供、「つながる工場」の強靱化」を目標に掲げた。

4. 少子高齢化社会における世界で最も快適な生活環境の提供

「誰もが健やかで快適な生活を実現」

・佐野プログラムは、「レーザー・プラズマ・加速器技術を結集する拠点の構築、より具体的には超小型 X 線自由電子レーザー (XFEL) の実現とポータブルな高出力のパルスレーザーの普及による産業や社会構造の変革」を目標に掲げた。

・山海プログラムは、「要介護者の自立度を高め、介護者の負担を激減させる人とロボット等との融合複合支援技術を開発し、「重介護ゼロ社会」を実現すること」を目標に掲げた。

・宮田プログラムは、「多様な極微量有害・危険をいつでもどこでも一度にオンサイトセンシングできる技術を開発し、健やかで快適な生活を実現する」を目標に掲げた。プログラム途中で、幅広い用途を狙う出口目標の重点化を行い、重大な社会課題にフォーカスすることとした。

・八木プログラムは、「非侵襲・非破壊で三次元可視化する光超音波法による計測手法を開発し、病気の早期発見や健康管理、品質検査等に応用し、健康長寿で安全・安心な社会の実現に貢献すること」を目標に掲げた。

・山川プログラムは、「脳情報の可視化と制御技術の研究開発を進め、世界に先駆けた脳情報産業を日本から創出し、世界の心と脳の問題を解決すること」を目標に掲げた。

・野地プログラムは、「超微小溶液チャンバにバイオ分子を機能的に搭載・集積化した人工細胞リアクタ技術をコアテクノロジーと定め、バイオ分析、酵素開発、合成細胞技術を革新・創出しバイオ産業にイノベーションをもたらすこと」を目標に掲げた。

5. 人知を超える自然災害やハザードの影響を制御し、被害を最小化

「国民一人一人が実感するレジリエンスを実現」

・田所プログラムは、「災害極限環境で有効なロボットの基盤技術を開発し、時々刻々と変化する未知の環境下で情報収集と緊急対応に貢献する本当に利用できるロボットの実現」を目標に掲げた。

・白坂プログラムは、「オンデマンド即時観測が可能な小型 SAR 衛星システムにより、夜間・悪天候でも即時に対象の観測が可能なシステムを構築すること」を目標に掲げた。その後、平時の民生利用も目標に加えた。

上記の目標について、各 PM が設定した研究計画の特徴は以下の通りである。

- ・ 伊藤プログラムでは、出口企業となる日産自動車と協議し、5 つの材料開発プロジェクトに対して、挑戦的な数値目標を設定した。
- ・ 合田プログラムでは、Phase 1 では複数の競合するチームにより 5 つの要素技術開発を行い、ステージゲートで勝ち残った技術を中心に統合システムを開発した。
- ・ 佐野プログラムでは、産業用パワーレーザーを従来の 1/100 まで超小型化し、XFEL を約 700m から 60m まで超小型化するという極めて高い目標に挑戦した。
- ・ 佐橋プログラムでは、メモリのみならず演算処理部(マイコン)までを不揮発化して、消費電力の極めてチャレンジングな削減を目指す目標を設定した。
- ・ 山海プログラムでは、「重介護ゼロ社会」という未来を描き、その実現に必要な研究開発を重点的に行うバックキャストアプローチを取り入れた。
- ・ 鈴木プログラムでは、アミノ酸配列を変えることにより人工構造タンパク質を創製して、工業部材への応用という難易度の高い目標に挑戦した。
- ・ 田所プログラムでは、5 種類のプラットフォームを開発して災害ロボット技術をタフにするだけでなく、社会実装と産業波及を進めることを目指した。
- ・ 藤田プログラムでは、高レベル放射性廃棄物を 10 分の 1 程度に低減して、残留廃棄物を資源として再利用するシナリオを提示して、プロセス概念を具体化した。
- ・ 宮田プログラムでは、ウイルス等を 1 粒子レベルで識別する新しい計測原理を開発して原理実証を行った。原理実証の進んでいる人工嗅覚システムについては製品化を進めた。
- ・ 八木プログラムでは、超音波イメージング技術を非侵襲診断や非破壊検査に応用して可視化するプロトタイプを試作し、価値実証することを目標とした。
- ・ 山川プログラムでは、民生分野における脳情報モデルケースの公開と脳情報エコシステムの構築を目標に設定し、脳情報の可視化及び制御技術の開発とその応用を進めた。
- ・ 山本プログラムでは、世界中の研究者が目指す方向と逆の路線で、量子コンピュータはゲート型より光発振器ネットワーク型の実用性が高いと判断して、目標設定を行った。
- ・ 白坂プログラムでは、当初は災害時の利用を対象としていたが、民生活用に向けてコンステレーション型も対象とし、世界最小・最軽量で高性能な SAR 衛星という目標に上方修正した。
- ・ 野地プログラムは、当初から世界的な診断薬メーカー等を巻き込んだ計画を策定して、研究開発成果の社会実装をできるだけ速やかにすることを目指した。
- ・ 原田（香）プログラムでは、医師や産業界を巻き込み、標準化まで含めた包括的な取り組みが必要なバイオニックヒューマノイドを開発するという目標を設定した。
- ・ 原田（博）プログラムでは、短期間で必要な要素技術を標準化し、社会実装ができるレベルにまで押し上げ、臨床や各施策に利用できる開発水準を持たせる目標を設定した。

〈所見〉

ImPACT の目的は、「イノベーションに最も適した国」、「起業、創業の精神に満ちあふれた国」の実現であった。この目的を達成するために、総合科学技術会議が定めた5つのテーマに対して、既存の技術開発トレンドの延長線上には無い目標を設定した非連続イノベーションの創出を目指した16のプログラムが実施された。

未来の予測は困難であり、非連続性の大きなハイインパクトな目標達成のための技術開発には高いリスクが伴う。ImPACT においては、合議によってリスクヘッジするのではなく、先行した FIRST プログラムの研究成果と経験を活かすとともに、DARPA 型と呼ばれた PM 制度を採り入れることで目標達成に挑戦した。PM は、大胆な裁量権と予算により、社会や産業に変革をもたらす高い目標を掲げた。

この認識の元に、上記の5つのテーマを俯瞰すると、我が国の将来の経済社会・産業の在り方に大きな変革をもたらすものであることは疑いの生ずる余地がないものと考えられる。また、これらのテーマの元に公募によって選ばれた16のプログラムにおいても、それぞれの PM が掲げた目標は挑戦的なものと認められる。特に、幾つかの事業においては、全く新しい技術体系を提案し、その実現を持ってして社会変革を目指していることが認められた。このことは、ImPACT 事業の理念が色濃く反映されたものとして、特筆に値する。

一方で、5つのテーマが大括り化されて幅広いプログラム提案を担保した一方で、目標が達成された暁に、どのような社会変革が期待されるのかに関する具体的なイメージが不足しているプログラムもあった。さらに踏み込むと、「何故、他の国家プロジェクトや民間主導の研究開発投資では到達できない目標なのか」、に関する説明は大いに不足していたように思われる。

挑戦的な技術開発には、産業界からの研究開発への本格的な参画と同時に、極めて深い科学的知見と最先端の研究成果が必要不可欠となることがしばしばである。ImPACT においては、双方の推進が PM 及び PM 補佐に託されていたが、後述のように、後者の見通しが不足していて、研究計画が変更になったプログラムもあった。さらに、ImPACT の理念を具現するため、成果の社会実装、ベンチャー起業あるいは研究開発プログラム内外の企業による事業化が求められたため、開始時に掲げた目標と研究計画におけるマイルストーンとの間にギャップが生じているプログラムもあり、制度検証報告書では「グローバルな視点から見れば必ずしもパラダイム転換をもたらすハイインパクトな目標設定にはなっていない」という指摘があった。

マイルストーンだけを評価をすれば、これらの指摘も当然であるが、失敗を恐れずに挑戦を行ったものの所期の成果を得られなかった場合に、国費の無駄遣いに終わらせないためにマイルストーンの変更を重ねた故のギャップである。また、失敗と判断された成果から予期せぬ展開が生まれることも少なくない。必ずしも成功とは評価されなかったプログラムの研究計画と進捗管理の過程から学ぶことも極めて重要である。

2) 実施体制と進捗管理の妥当性

- ・ 伊藤プログラムでは、企業を各プロジェクトのリーダーとし、最適なアカデミアと連携する産学連携マトリックス体制を構築した。さらに、毎年の評価を次年度予算に反映して、連携するアカデミアを組み換えた。
- ・ 合田プログラムでは、知名度ではなく実力とポテンシャルを評価して、産学から 45 歳未満の若手中心に技術者・研究者を結集したチームを編成した。縦および横の連携を強化して、異分野融合型の研究開発を推進した。
- ・ 佐野プログラムでは、ImPACT 後も研究開発を継続できるよう、期間中から競争的資金への応募を促した。たとえば、浜松ホトニクス製のテーブルトップレーザーが新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）事業に採択されたので、ImPACT では高出力化検討は中止し応用実証に注力した。また、JST の未来社会創造事業とも相乗効果が得られるよう情報交換を行った。
- ・ 佐橋プログラムでは、日本のスピントロニクスおよび磁気メモリ（MRAM）のトップ研究者を結集した。さらに、国内外の研究開発動向を把握したうえで、プロジェクトの統廃合や研究開発ロードマップの重点化を行い、公募による 5 名の PI の新規参入を実施した。
- ・ 山海プログラムでは、多くの専門家との打ち合わせの中から本プログラムに必要なトップレベルの技術を有し、プログラムへの参加意思の強い機関を選定した。また、コア研究開発機関メンバーからなる ImPACT 研究開発推進コアを組織し、研究開発が円滑かつ適切に実施できる体制を整備した。
- ・ 鈴木プログラムでは、定期的の特許調査を実施するなど競合する研究開発の動向を調査して、競合他社で未解決の水接触時の収縮について集中的に研究開発に取り組み、収縮率を大幅に低減（当初比 90%減）させることに成功した。
- ・ 田所プログラムでは、プラットフォーム毎の縦型の組織による運営を行い、ロボットとしてのシステム化や目的指向での技術開発ターゲットの絞り込みを促進した。またフィールド評価会を年に 2 回行い、ユーザや産業界からの意見を集めた。
- ・ 藤田プログラムでは、原子力のトップ研究者だけでなく、これまで共同で研究したことのない核物理の研究者との融合を図り、同位体の偶数核種と奇数核種をレーザー光で分ける等の斬新なアイデアが多数生まれた。
- ・ 宮田プログラムでは、異分野融合を達成するためプロジェクト横断的に要素技術を展開できる研究者を採用して研究実施体制を構築した。また、プログラム開始後 2 年間は全体会議を年 3~4 回開催し、人と情報の共有、交換の場を設けた。
- ・ 八木プログラムでは、医療分野とは異なる非破壊検査の超音波メーカーを追加することにより、半球型光超音波センサの開発に成功した。また、QOL 向上が期待されることから患者数の多いリンパ浮腫を価値実証に追加して、光超音波技術の有効性を検証できた。

- ・ 山川プログラムでは、携帯型 BMI・脳ロボティクス・脳ビッグデータの 3 つの研究課題について、トップ研究者を統括技術責任者にキャスティングし、科学視点での推進を任せると同時に、PM 自身は科学的取組を踏まえた技術開発及び産業化のマネジメントに注力した。
- ・ 山本プログラムでは、困難な目標に挑戦するという ImPACT の主旨、PM の現状に対する危機感が全体に伝わるよう、PM の意見を率直に述べてきた。また、職位を問わずプロジェクトを牽引するキープレーヤーを定期的に呼び、1 対 1 で直接進捗報告を聞き取り、研究指導・アドバイスを与えることで研究開発の加速に務めた。
- ・ 白坂プログラムでは、研究開発の進捗状況・妥当性を的確に把握するため、定期会議の設定や、外部有識者による第三者設計レビューの適宜開催、PM 補佐の研究機関常駐などを行い、選択と集中により各プロジェクトの研究開発の加速（打ち上げの 1 年前倒し）・減速等の調整を行った。
- ・ 野地プログラムでは、ハードルが高すぎると判断して当初計画に入れていなかったゲノム合成技術に関して、レビュー会による「作り込み」の過程で、PM 補佐が見出した研究グループによって実行可能性があることが判明し、結果として、当該プログラムを代表する成果として結実した。
- ・ 原田（香）プログラムでは、多施設・産学・医工連携による分野横断的な研究体制として、共同研究を必須とし、医師等の評価を定期的に受けることで計画を柔軟に修正しながら斬新なアイデアや最先端の知見を結集した研究開発を実施することができた。
- ・ 原田（博）プログラムでは、情報処理分野と医療分野のトップ研究者を取り込んで、連携してプロジェクトを進めることで情報通信と医療を結び付ける等、異分野融合が可能な体制を整えた。また、プログラム当初から商用化を見据えて、ロームや日立国際電気等の民間企業を巻き込んで、研究開発を行った。

〈所見〉

プログラム作り込みを経て、各 PM が目標達成に向けた特色あるマネジメントを試行していたことがわかる。PM へのアンケート結果によると、「基金方式による多年度での研究資金配分」、「研究計画策定や予算配分等の大きな権限を PM に付与」、「PM の裁量による期間中での研究機関及び資金配分の柔軟な変更」に関しては、16 人中 15 名が「非常に評価できる」、残り 1 名が「ある程度評価できる」としており（表 3-1）、ImPACT の制度設計が PM のマネジメントに活かされたであろうことがわかる。PM のコメントにも、「研究開発の進捗に応じて予算及び計画を柔軟に変更できたことから、実用化に向けた開発を加速できた」等、ポジティブな意見が多かった。

表 3-1 ImPACT の制度の特徴についての PM の意見

	非常に評価できる	ある程度評価できる	あまり評価できない	全く評価できない
大規模な研究費	12	4	0	0
研究期間の長さ	3	9	4	0
基金方式による多年度での研究資金配分	15	1	0	0
各プログラムの進捗状況等に応じて、有識者会議/推進会議が研究費総額を加減	6	6	3	1
PM の資質・実績に卓越した構想力、知見、企画力及びマネジメント能力等を求めたこと	15	1	0	0
PM の雇用形態やエフォート管理	5	8	3	0
PM 採用後の作り込みプロセス	6	7	3	0
研究計画策定や予算配分等の大きな権限を PM に付与	14	2	0	0
PM の裁量による期間中での研究機関及び資金配分の柔軟な変更	15	1	0	0
PM 補佐による PM 活動へのサポート	11	4	1	0

一方で、制度検証報告書によると、「アンケート調査結果では、PM が資質・能力を発揮し、研究開発機関の差し替えや研究資金の配分等を柔軟に行っていたとする回答が概ね半数に上ったが、ステージゲートを行った PM は 16 人中 6 人に止まり、プログラム期間中に研究開発機関の見直しや研究資金の配分変更等が低調なプログラムが存在していた」との分析がなされており、ImPACT 制度をもってしても実施体制のダイナミックな再構成には困難が伴っていたと考えられる。さらに、PM からは「実際には承認のための会議プロセスが複雑で「迅速性」が伴っていないことが制度上の問題」という指摘もあり、どのような「迅速性」の阻害要因があったのかを精査する必要がある。

進捗管理、特に技術ヒアリングやレビュー会に関する PM コメントは、大変に幅広いものとなっている。「初期レビュー会の高い専門性を持つ評価者がいなかった。技術ヒアリングでの管理法を当初から導入した方が良い」や「最終年度のレビュー会が少なかったような気がする。追い込み時期なのでもう少しきちんとレビューをすべきだったのではないかとと思う。」のように好意的なコメントがある一方で、「PM に大きな権限を与えたからには、外部有識者による進捗管理は最小限にした方がよい。」「ImPACT が目指すべきものについては、委員の先生方の間でも意見が異なっていたように感じた。また、途中でレビュー会の運営方針や評価方法が大きく変わり戸惑った。」のように否定的なコメントも出されている。

このように両極端なコメントが寄せられる理由としては、「ImPACT の制度設計そのものが

挑戦的であって試行錯誤を必要とした」、「技術ヒアリングやレビュー会がPMのマネジメントに大きな影響力を持ったことを端的に表している」等が推察されるが、プログラムそれぞれの事情にも大きく左右されている可能性がある。

3) 外部投資の誘導、成果の展開等

- ・ 佐野プログラムでは、開発された超小型レーザーが4社から製品化され、販売を開始している。また、分子科学研究所はオープンイノベーション拠点を設置して、民間企業22社を会員とするコンソーシアムを通じて、新規事業をサポートしている。
- ・ 鈴木プログラムでは、開発された構造タンパク質素材を使用するウェアがすでにアパレルメーカーから発売されている。また本プログラムで得られた知的財産やクモ・ゲノムDBを一元管理する「知財コンソーシアム」を立ち上げ、プログラム終了後に参画企業が継続的に事業化に取り組めると同時に参加企業以外にもライセンス展開しながら市場拡大・普及を促進するための体制を整備した。
- ・ 八木プログラムでは、計画当初から産業界と連携を進めて、研究開発投資を誘導している。例えばアドバンテストは、開発した製品を理化学機器として発売し、医療用への適用拡大を進めている。キャノンと日立製作所が共同開発した装置の開発を引き継ぐスタートアップが設立され、臨床研究を進めている。ジャパンプローブ社は、本プログラムを機に医療機器製造業の承認を取得して、超音波探触子の医療応用を進めている。
- ・ 山本プログラムでは、本プログラムで開発された光の量子効果を用い、10万ビットの新型コンピュータの開発に取り組んでいる。この開発・商用化を目的に、プログラム参加企業であるNTTが自ら投資する新研究所をシリコンバレーに開設。山本PMが所長を務めることになった。
- ・ 白坂プログラムでは、PMが自ら立ち上げたベンチャー企業に100億円を超える民間投資を誘導し、ImPACTで開発した実証衛星を打ち上げるSARデータ利用に係るパイロットプロジェクトを実行した。
- ・ 野地プログラムでは、計画当初から世界的な臨床診断薬メーカー（Abbott）や国内の異分野企業（凸版印刷）に参加してもらい、ImPACT予算をはるかに超える自発的研究開発投資を誘導してデジタル診断装置の開発を進めている。
- ・ 原田（博）プログラムでは、研究開発された狭域系Wi-SUNと広域系Wi-RAN技術を製品化するための開発投資をロームと日立国際電気が行い、Wi-SUNが東京ガスのスマートメーターに、Wi-RANが国交省地方整備局に災害用や船舶間通信用に採用されるなど普及が進んでいる。超ビッグデータ処理エンジンについても、日立製作所が実運用可能な品質にするための自己投資を行った。

＜所見＞

ImPACT の目的は産業や人間社会にパラダイムシフトを起こすことにあった。この視点からテーマが採択されたために、いずれのテーマもインパクトはあるがリスクが非常に高い。高いリスクを覚悟で果敢に取り組み終えたリーダーの熱意・努力に敬意を表したい。少なからぬリーダーが世界でトップクラスのマネジメント力を身に付けたのではないか。

ImPACT のようなリスクの高いテーマは、企業内の研究と異なり、そして SIP とも異なり、成果の評価には多面的で多様な視点を持たなければならない。パラダイムシフトを狙うテーマでなら、この考え方はアメリカでもヨーロッパでも同じ。

ImPACT 終了半年後の現時点で「外部投資の誘導、成果の展開」を評価すれば、多くのプログラムで大きな成果を挙げている。例えば ①プログラム参加企業を含む多くの民間企業が商品化に向けて開発投資を決定。一部で商品化も始まった、②プログラムリーダが、自らベンチャー企業を立ち上げながら内外から巨額資金を集め、パイロットプロジェクトを実行中、さらに ③ImPACT が切り開いた新しい分野の研究がグローバルに広がっており、海外への研究投資も始まった。そしてなによりも、④研究開発のマネジメントで、世界トップクラスの人材が育つので、ImPACT に連なる今後の国家プロジェクトには更に多くの外部投資を誘導できるであろう。

いずれも国の内外から高く評価されており、我が国はもとよりグローバルな産業界でも遠からずパラダイムシフトを起こすであろう。ImPACT をスタートさせた関係各位に改めて敬意を表したい。

4) アウトリーチと人材育成

①アウトリーチ

各プログラムでは、単独または合同でシンポジウムを開催したり、学会等で研究成果物を展示するなど、積極的にアウトリーチに活動を行った(表 3-2)。とりわけ、伊藤プログラムでは、制作したコンセプトカー ItoP を、東京モーターショーを始めとして各地で展示・試乗体験を実施するなど、一般社会の関心醸成に努めた。田所プログラムでは、公開フィールド評価会を年 2 回開催し、ロバスト屋外ロボティクス基盤技術開発の必要性を社会に問いかけ続けた。また、山海 PM は G7 や世界経済フォーラムにおいてプログラムの構想を紹介するなど、外国の政財界要人を含めて国際的な発信も積極的に行った。SNS や動画サイトの活用など、従来型の WEB 発信では届きにくい層への浸透を図る試みも行われた。

表 3-2 各プログラムのアウトリーチの状況（最終評価報告書より転記）

プログラム	伊藤	合田	佐野	佐橋	山海	鈴木	田所	藤田
アウトリーチ回数	78	65	204	137	87	13	105	104
報道数	104	49	23	163	147	249	430	47
プログラム	宮田	八木	山川	山本	白坂	野地	原田香	原田博
アウトリーチ回数	75	68	166	125	13	36	47	103
報道数	157	12	134	103	2	10	23	114

その一方で、山川プログラムでは、脳の状態の改善に効果が期待される商品やサービスと脳の状態との関係を解明する共同研究「BHQ チャレンジ」の一部において、エビデンスが十分とは言えない予備的な内容を発表したことで、批判的意見が多数寄せられる結果となった。山本プログラムにおいても、研究成果物が量子コンピューターとみなせるかについて議論が起きるなど、より慎重なアウトリーチ活動が求められることになった。

〈所見〉

表 3-2 より、ImPACT 各プログラムにおいて数多くのアウトリーチ活動が行われていたことがわかる。しかしながら、その訴求力が充分であったかを検証する必要があると思われる。例えば、メディアで ImPACT プログラムの成果がどのように取り上げられてきたのかを調べ、科学技術政策におけるアウトリーチ活動の在り方を研究することも考えられる。今後、各プログラムの開発成果を実用化・製品化、そして事業化して ImPACT の貢献を見える化することは、国費を使った本事業関係者の責務である。

上記の山本プログラムに関しては、FIRST で得られた研究成果を元に、ImPACT 期間中に技術開発を重ね、量子ニューラルネットワークという新しい情報処理システムを開発したが、既存の「量子コンピュータ」という定義に当てはまるかという視点のみで議論がなされていたように思われる。

一方で、メディアによって研究開発の成果が取り上げられることは貴重な機会でもあり、内閣府が先導し、広く社会に向けて研究開発の目標や意義を説明する機会を設けることが期待される。さらに、広報の専門家「エバンジェリスト」の活用も検討すべきである。

② 人材育成

ImPACT プログラムでは、我が国で不足している PM 人材の輩出が大きな目的の一つであった。ImPACT においては、大学に所属する PM には、大学教員業務と自らの ImPACT 研究業務について、各 10% 以下のエフォートを認めていた(表 3-3)。

表 3-3 ImPACT の各 PM のマネジメント業務のエフォート率(%)

PM	伊藤	合田	佐野	佐橋	山海	鈴木	田所	藤田
エフォート率	80	85	100	95	80	100	80	100
PM	宮田	八木	山川	山本	白坂	野地	原田香	原田博
エフォート率	95	100	100	100	80	80	90	80

研究期間終了後、応募前に公的機関に所属していた PM(10 名)は、いずれも元職に復帰しており、人材の流動化にはつながっていない。これに対して専任の PM(6 名)は、出身組織に戻ることなく、ベンチャー起業(八木 PM)や海外での新規研究所立ち上げ(山本 PM)など、新たな活動に取り組んでいる。民間出身者については出向元との兼職を認めていないことが影響した可能性がある。

同じく追加調査によると、JST 職員出身ではない PM 補佐の担当業務は、46 人中 35 人が研究管理であり、研究面で PM を補佐するケースが多かったと考えられる。一方、知財・標準化を担当する者は 4 名、事業化や技術移転を担当する者は 2 名に留まった。プログラム終了後は 46 人中 14 人が出身組織に復帰しているが、これを機にベンチャー企業や資金配分機関等に移籍する例もみられる。PM 補佐の設置は、マネジメント人材の育成と流動化について一定の成果があったといえるが、次のポストが見つからないと推察される例も見受けられ(表 3-4)、育成された人材の有効活用が望まれる。

表 3-4 PM 補佐の出身元とプログラム終了後の動向

前職	人数	復職	転職(ベンチャー)	転職(ベンチャー以外)	フリー・その他
企業(PM 関係先)	9	5	1	1	2
企業(PM と無関係)	16	4	3	6	2
大学(PM 関係先)	5	2	0	2	1
大学(PM と無関係)	6	1	0	3	2
国研(PM 関係先)	1	1	0	0	0
国研(PM と無関係)	5	1	0	2	2
その他	4	0	0	2	2
計	46	14	4	16	11

ポスドク等の若手研究者についても、自機関の職員となった者が 54 名、参画企業に就

職した者が9名、ベンチャー企業に就職した者が10名など、着実にキャリア形成が進んでいる(表3-5)。

表3-5 ポスドク等のプログラム終了後の動向

	人数	大学	研究機関	民間企業		
				参画企業	ベンチャー	その他
自機関職員になった	54	42	8	4	0	0
現在もポスドク	52	44	8	0	0	0
他機関へ移籍	158	61	39	5	10	41
不明	9	—	—	—	—	—
計	273	147	55	9	10	41

若手育成のためプロジェクト横断的な交流の場を設けたプログラムも多く、特に大学・研究機関において、ImPACTに参加した効果に若手人材の育成を挙げる回答が80%以上となった(表3-6)。

表3-6 ImPACTに参加した効果(若手人材の育成)

理由	全体		大学・研究機関		民間企業	
当てはまる	112	46.5%	87	50.3%	25	36.8%
どちらかと言えば、当てはまる	83	34.4%	58	33.5%	25	36.8%
どちらかと言えば、当てはまらない	24	10.0%	17	9.8%	7	10.3%
当てはまらない	22	9.1%	11	6.4%	11	16.2%

〈所見〉

ImPACTでは、当初より「実現したい未来の姿を描いて、散在する技術をまとめ上げてアイデアを具現化する能力を持ったPMという職域を国としても育てていく必要がある」という認識がなされていた。「進捗管理・研究評価体制の妥当性」の項に記載されているように、PMの評価が分かれていることは、逆に、レビュー会がこの認識の元に真摯にレビューを行ったことを端的に示しているのではないか。このような観点からは、公的機関に所属していたPMが元職に復帰し、人材の流動化にはつながっていないことは極めて残念なことと思われる。

ハイリスクな挑戦を志向したImPACTでは、全てのプログラムにおいて「将来の産業・社会のあり方の変革に向けた見通しが得られること」はあり得ない。即ち、プログラムの失敗は、ImPACT開始当初から想定されていたことであり、むしろ、失敗したプログラムのPMであればこそ、高い目標に向かって果敢に挑戦を行った人材として、事業終了後には、活躍の場をより広げていただきたい。

同じく、「進捗管理・研究評価体制の妥当性」の項にあるように、PM から「高い専門性のある評価者から有益なコメントが受けられたので当初から(技術ヒアリングを)導入すべきだった」という意見が出されている。これは、科学技術的視点から専門性を持って PM を補佐する人材が配置されていなかったプログラムがあったことを意味している。プログラムの当初目標に対して学術的な見通しが不足していたように思われる事業もあったことを考えると、PM 補佐人材の育成を目指した具体的な取組が求められる。

FIRST 事後評価結果においても、「FIRST の経験を積んだ研究支援者の情報の共有」といった点も重要な視点であり、研究支援者の経験の共有や、研究支援者自身の情報共有が図られることが期待される。また、研究支援の重要性に着目した研究開発資金制度が更に普及しない場合、研究支援を重要視する視点と経験人材が育たない。特に、大型研究費の場合は、研究支援担当機関の設置を義務付けるなど、今後の制度設計に当たっては、こうした視点を十分考慮することが期待される。」という指摘がなされていた。

ImPACT のステップ 5 では「知的財産の戦略的なマネジメントや技術の標準化などに務めつつ」と、技術の標準化の重要性が指摘されていた。しかしながら、ImPACT における標準化戦略は予算額に比して適切なレベルに達していなかったと判断される。このことは、規格作成や国際標準化業務に経験を持つ人材の不足を端的に表していると思われる。

また、ImPACT では、非連続性の大きいハイインパクトな目標を達成するための技術開発がなされていたわけであるから、その推進には、技術開発を担った技術系支援人材の貢献が大きかったことが容易に推察される。一方で、終了時評価報告書においては、野地プログラムにおける基盤プロジェクトに一部の記載があるものの、そのような人材の貢献がほとんど見えてきていない。これは、技術系支援人材が PI の傘下で活躍していて、PM からは見えていないことが原因の 1 つではないかと思われる。今後、特に開発を志向する事業においては、技術系支援人材の育成や流動性の確保などにも留意する必要がある。

5) プログラム終了後の研究活動

追加調査によると、235 名の研究開発責任者のうち 3/4 以上が ImPACT で実施した研究開発を現在も継続していると回答した(表 3-7)。ただし民間企業においては、継続しているのは約 2/3 に留まる。

表 3-7 ImPACT で実施した研究開発の継続状況

	全体		大学・研究機関		民間企業	
継続している	185	78.7%	139	83.7%	46	66.7%
継続していない	50	21.3%	27	16.3%	23	33.3%

研究開発を継続している理由として最も多いのが、今後の研究開発の進展への期待であ

り 90%近くに及ぶ(表 3-8)。研究開発成果に対する需要への期待も企業では一番多い回答である(約 78%)。「ImPACT での共同研究先以外からの要請」の比率は低いものの、「複数の企業から共同研究の要望がある、製品化の打診がある」、といった具体的回答が多く寄せられ、ImPACT での共同研究の枠組み以外の新たな連携が始まっている。

表 3-8 研究開発を継続している理由

理由(複数回答可)	全体		大学・研究機関		民間企業	
研究資金が確保できた	102	55.1%	86	61.9%	16	34.8%
研究の進展が期待できる	166	89.7%	132	95.0%	34	73.9%
研究開発成果に対する需要が期待できる	126	68.1%	90	64.7%	36	78.3%
ImPACT での共同研究先からの継続要請	77	41.6%	60	43.2%	17	37.0%
上記以外からの要請	62	33.5%	54	38.8%	8	17.4%
その他	26	14.1%	21	15.1%	5	10.9%

ImPACT において形成された共同研究も過半数で維持されており(表 3-9)、特に産学の連携により研究開発成果の社会実装につながることを期待される。

表 3-9 ImPACT で新たに形成された共同研究関係の継続状況

理由	全体		大学・研究機関		民間企業	
全てを維持	19	10.7%	12	9.5%	7	13.7%
一部を維持	81	45.8%	64	50.8%	17	33.3%
情報交換をしている	63	35.6%	44	34.9%	19	37.3%
維持していない	14	7.9%	6	4.8%	8	15.7%

一方、研究開発を継続していない理由の最多は資金が確保できないことであり(表 3-10)、研究が切れ目なく行うことは自助努力に任されている。研究開発を継続している機関においても、資金を確保できたとの回答は半数程度である。民間企業においては、研究開発成果に対する需要の有無も研究開発を継続する上での主要な関心事項である。

表 3-10 研究開発を継続していない理由

理由(複数回答可)	全体		大学・研究機関		民間企業	
研究資金が確保できない	27	54.0%	16	59.3%	11	47.8%
克服困難な技術的課題がある	9	18.0%	5	18.5%	4	17.4%
研究開発成果に対する需要が見込めない	10	20.0%	3	11.1%	7	30.4%
ImPACTでの共同研究先からの要請がない	11	22.0%	7	25.9%	4	17.4%
研究人材が確保できない	10	20.0%	6	22.2%	4	17.4%
その他	8	16.0%	4	14.8%	4	17.4%

研究期間終了後には、研究開発成果の論文発表も進んでおり、論文データ番号(DOI)が確認できたものだけで、2019年11月末現在で1800本の原著論文が発表されている(表3-11)。研究開発内容により論文発表への適合性が異なるので単純な比較はできないものの、伊藤、佐橋、山本プログラムでは論文数、被引用数(論文データベースWOS(Web of Science)におけるImPACTへの謝辞のある論文について計測)とも、高水準の発表が行われている(図3-1)。

表 3-11 研究期間終了後を含めた原著論文(DOI有)の発表状況

プログラム	伊藤	合田	佐野	佐橋	山海	鈴木	田所	藤田
原著論文数	288	83	44	244	92	84	106	50
プログラム	宮田	八木	山川	山本	白坂	野地	原田香	原田博
原著論文数	70	25	170	445	6	51	23	19

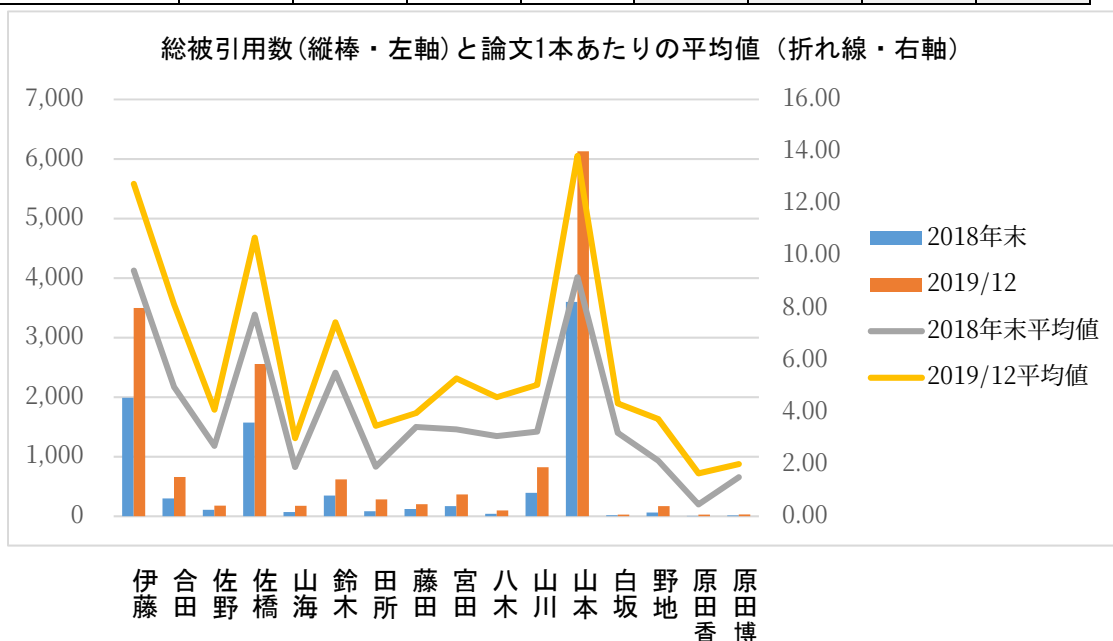


図 3-1 ImPACT への謝辞のある論文の被引用数

論文の被引用数は発表後の時間の経過とともに増えるので、2次募集の4課題では低水準となることに留意する必要があるが、2018年末と比較した被引用率の上昇が全プログラムにおいて確認された(図3-1)。

追加調査の結果、SIP/PRISM、JSTの戦略的創造研究や未来社会創造など、大型(直接経費総額1億円以上)の競争的研究資金の獲得も50件あり(表3-12)、日本医療研究開発機構(AMED)やNEDOから支援を受けて、産業や社会変革に向けたロードマップを着実に進行させているプログラムも多数存在する。

表3-12 競争的研究資金獲得状況

(直接経費総額1千万円以上(括弧内1億円以上)、令和元年度現在継続中)

プログラム	SIP/ PRISM	科研費	JST			AMED	NEDO	その他
			未来社会創造	戦略的創造研究	その他			
伊藤	1(0)	3(1)	1(1)	3(3)				1(1)
合田		1(1)		3(1)		1(0)		2(0)
佐野	1(1)	1(0)	2(2)				1(1)	3(1)
佐橋	1(1)	10(6)		1(0)				2(0)
山海								
鈴木		1(0)		1(1)	1(0)			1(0)
田所	1(0)	8(0)			1(0)		2(0)	4(1)
藤田		1(1)						
宮田	1(0)	5(2)	1(0)	2(0)				3(3)
八木						1(1)		
山川		2(0)		3(3)		1(1)		2(2)
山本	2(1)	5(4)		6(4)	1(0)		1(1)	1(1)
白坂								
野地		7(1)		2(2)	1(0)	1(0)		1(0)
原田香		2(0)				1(1)		1(0)
原田博		1(0)				1(0)	1(1)	3(0)

ImPACT 発ベンチャー（表 3-13）を含めた ImPACT 参画機関以外への技術移転に向けた共同研究や特許の実施許諾なども、活発に行われている（表 3-14）。

表 3-13 ImPACT 期間中または終了後に設立されたベンチャー企業

プログラム	企業名	設立年月日	ImPACT 関係者の関与
伊藤	澤田高分子技術研究所	2014/7/1	PI が技術顧問
合田	Cupido	2018/4/1	PM が共同創業者
合田	CYBO	2018/7/1	PM が共同創業者・技術アドバイザー PM 補佐が代表取締役創業者 PM 補佐が共同創業者
合田	ライブセルダイアグ ノシス	2019/6/1	研究員が代表取締役創業者、PL が顧問
佐野	LAcubed	2019/4/22	PM が研究開発部長
佐橋	Spin-Orbitronics Technologies	2018/9/11	PI が代表取締役、 PM が Chief Advisor
田所	コレオノイド	2019/4/15	PI が代表取締役
田所	H-MUSCLE	2018/10/17	PI が代表取締役
宮田	Aipore	2018/9/1	PI が取締役、PI が技術顧問
八木	Luxonus	2018/12/11	PM が取締役 CTO
山川	BHQ	2019/5/1	PM 補佐が社長と副社長
白坂	Synspective	2018/2/1	PM が取締役
野地	OriCiro genomics	2018/12/1	PI が CSO
原田香	メドリッジ	2019/1/1	特任教員が代表取締役
原田香	Blue Practice	2019/2/1	PI2 名が取締役

表 3-14 研究開発成果の外部機関への移転

プログラム	伊藤	合田	佐野	佐橋	山海	鈴木	田所	藤田
秘密保持契約件数	24	9	6	2		10	2	
共同研究契約件数	38	5	11	6		2	5	
特許の実施許諾件数	2	4		1			2	
プログラム	宮田	八木	山川	山本	白坂	野地	原田香	原田博
秘密保持契約件数	12					3	15	
共同研究契約件数	7					3	10	
特許の実施許諾件数	2						6	

〈所見〉

ImPACT は将来の産業や社会のあり方の変革に向けたプログラムを実施している。その一方で現実的には、多くのプログラムでは3～5年の実施期間では要素技術の開発やその実装可能性が確認される段階までしか実現しにくいという実態がある。そのため、ImPACT 資金が終了したあとに、研究開発の継続が実現される体制や仕掛けができていたかは重要な点である。

追加アンケート調査では、結果的に、多くの参加者は継続している状況にあり、大学・研究機関の研究者は次の研究資金を確保するなどして 8 割以上が実施している。獲得している資金は、SIP、NEDO や AMED の資金、総務省の SCOPE、JST の CREST や ERATO だけでなく研究成果展開事業の START などがみられ、産業への橋渡しや社会実装に向けた取組が一定程度進みつつあることがわかる。また、科学研究費補助事業により基礎的な研究を行っている場合でも基盤 S、基盤 A などの規模の大きな研究が展開されており、学術面のさらなる発展や成果創出が期待される。しかし、これらはそれぞれが個別に行っている取組であり、たとえば、優れた成果を創出したプログラムについては、CSTI により延長や実装支援の資金提供がなされるなど、シームレスな支援がなされる仕掛けも検討することは必要であろう。

他方、参加した民間企業については、継続していない割合が3割以上ある。成果に対する需要が見込める場合には、自己資金を用いた研究継続もなされているが、そうでなければ、民間企業では次の資金を確保することは難しく、実施が困難となっている。

アンケート結果からは、非継続の企業は決して、よりハイリスクで挑戦的な研究開発に取り組んでいたために継続できないでいるという結果はでていない。継続している企業は、セクター(アカデミア・産業界)を超えた共同研究関係を生み、これまでアクセスできなかった研究開発装置・設備・データ等の資源にアクセスできたとともに、研究開発成果の産業界への橋渡しやアウトリーチ活動が既になされている傾向がある。このような結果を踏まえ

ば、公的資金による民間企業への助成は、セクターを超えるような連携を積極的に組み入れることにより、その後の継続性・発展性を向上させることができる。

3-2 プログラム全体レベル

1) 公募・採択・作りこみの妥当性

第1次募集においては、ImPACTのテーマが公表されて公募が締め切られるまで2カ月足らずであり、追加調査においても準備時間が十分ではなかったという複数の意見があった。一方で、周知に時間をかけることは実質的な研究開発期間の短縮に直結するため、詳細書類の提出期限を延長したことは一定の効果があったと考えられる。

適切な課題を採択する評価基準として、「ImPACTの制度主旨との適合性」を有識者議員や全体俯瞰レビューが大所高所から判断した。他の制度では取り組めないハイリスク・ハイインパクトなチャレンジをすることが制度主旨の中核的概念であるが、短期間に多分野にわたる多数の候補者の選考を行う中で、概要書面のみでハイリスク・ハイインパクト性を審査することには難しさがある。後述するように、実施者へのアンケートでは、他資金制度では行い得ないテーマや高い挑戦を求める研究開発を行ったとの回答が多かったが、制度検証報告書では、既存の制度でも実現可能な課題もあるとの指摘もなされていた。

PMからは、1次募集時の公募期間が短い、との意見以外は、特段問題点を指摘する声はなかったが（表3-15）、幅広い分野からの応募が可能な中で、必ずしも当該分野の専門家ではない有識者議員や全体俯瞰レビューが研究開発プログラム構想を判断するのは容易ではない。一方で、制度評価報告書でも指摘されている通り、多分野にわたる専門家を巻き込んで選考を行う場合には、時間を要する上に分野横断で客観的な評価基準を設けることには困難が予想される。

表 3-15 ImPACT の公募プロセスについての PM の意見

	特に課題はない	ほとんど課題はない	やや改善すべき点がある	非常に改善すべき点がある
公募の周知方法（説明会の開催等）	9	6	1	0
公募期間の長さ	8	6	2	0
申請手続き（申請書の内容、分量等）	10	5	1	0
審査・採択のプロセス	8	7	1	0
PM 採用後の作り込みプロセス	6	7	3	0

作りこみプロセスについては、有識者議員からの指導や助言を受けたことが有意義であったと評価する声が多い一方で、期間が長く研究着手が遅れる、研究内容が変わり関係者との調整が必要となった、といった意見があった。研究に着手する前に研究計画と研究費の配

分を細部まで決定することは不確定要素が伴うため、プログラムの熟度によっては、スタート時には少額な配分にとどめ、追加配分額を行うスモールスタート方式も検討する必要がある。

2) 進捗管理・研究評価体制の妥当性

研究期間の当初3年間においては、有識者議員と ImPACT アドバイザーによるレビュー会が研究進捗管理において、大きな役割を果たしていた。社会改革など大局的な視点での助言や指導が行われたが、平成29年度には各プログラムが対象とする分野、領域の外部専門家からなる技術ヒアリングが行われ、研究開発のハイリスク・ハイインパクト性を担保する専門性のある評価が行われるようになった。

さらに中間評価的な試行として、技術ヒアリングとレビュー会を組み合わせる形でプログラム進捗状況評価と PM マネジメント評価が行われた。終了時評価におけるプログラム評価委員会も、技術ヒアリングから外部専門家を拡充する形で行われた。

PM 等へのアンケートでは、レビュー会については、開催頻度が高すぎて PM の自主性を損なったのではないか、という指摘があった。技術ヒアリングについては、プログラム内のアドバイザー会議と機能が重複する、進捗管理体制が研究期間中に変更されたことに戸惑ったという意見がある一方で、高い専門性のある評価者から有益なコメントが受けられたので当初から導入すべきだった、という意見もあった（表 3-16）。

表 3-16 ImPACT の進捗管理・研究評価についての PM の意見

	特に課題はない	ほとんど課題はない	やや改善すべき点がある	非常に改善すべき点がある
資金配分・使い勝手	6	7	2	1
進捗管理（技術ヒアリング、レビュー会等）	4	4	6	2
終了時評価（評価プロセスや最終評価報告書作成等）	5	7	2	2
プログラム終了後のフォロー（事業化支援、他施策へのつなぎ等）	1	5	5	5

研究計画の作成時には、各プログラムにおいて達成目標が設定されていたものの、通常の研究開発とは異なるハイリスク・ハイインパクトなチャレンジを評価する基準が必ずしも明示されておらず、評価者の間でも共通理解が成立していないのではないか、という意見もあった。プログラム終了後のフォローの仕組みを望む意見も多数みられた。

〈所見〉

制度検証報告書によると、進捗管理に関しては、プログラム採択後に「作り込み」を行ったことが効果的であったという調査結果が出ている。一方で、レビュー会が、ImPACT における技術開発に資するものとなっていたか、知的財産マネジメントの支援となっていたかどうかに関しては、それぞれのプログラムで異なっていたように思われる。特に、事業終了期にベンチャー立ち上げなどが行われるタイミングで、JST の支援体制がデジタルに終了となったことは、ImPACT にとっての大きな痛手であったと考えられる。もちろん、ImPACT 参画機関が自律的に実施すればよいという考え方もあり得るので、フォローの実行主体と形態のあるべき姿を検討すべきと考えられる。

なお、FIRST 事後評価において、「終期が定まった大型の国家プロジェクトの場合は、事業終了前後を円滑に進めるための研究課題側の対応が重要であり、事業開始後、早い段階から、終期到来を念頭においた具体的な取組が求められる。」という指摘がなされていた。その点に関しては、終了の1年以上前に ImPACT の制度検証がなされ、報告書も公開されていることは、FIRST の経験が ImPACT で生かされた好事例であったと評価できる。

事業終了時の評価を、技術ヒアリングと同様に実施したのは失敗であったと思われる。技術ヒアリングは、ImPACT 実施期間中にプログラム推進のために行うべきであって、評価に活用すべきではなかったと考えられる。PM から「評価者の間でも共通理解が成立していない」と指摘されているのは、まさにこの点であると考えられる。各プログラムの評価シートを精査すると、必ずしも全ての外部専門家が ImPACT の目的を理解しているとは思われず、そのような状況で行われた評価は、ImPACT プログラムの1つの物差しでしかないと考えべきである。評価の在り方に関しては、後継事業で同じ行き違いを起こさないためにも、時間をかけてしっかりと検証しておくべきである。

FIRST では、研究支援担当機関の創設という初の取組を円滑に推進する観点から、内閣府が主体となって、計5回の研究支援担当機関連絡会が開催された。同会では、30研究課題の研究支援統括者が集まり、研究者支援という共通の役割を認識する中で、支援事例や課題等を共有するとともに、改善策を検討する機会として活用された。ImPACT においても、特に評価の過程で、PM、PM 補佐間での情報共有を進め、内閣府や JST へのフィードバックがなされても良かったように思われる。ImPACT のように多彩なプログラムの評価に対して統一的な基準を設けることは適切ではないものの、ハイリスク・ハイインパクトなチャレンジを評価する基準の検討に、プログラム推進の主体である PM が参画することは有意義ではなかったかと思われる。

4. プログラム研究成果の評価

4-1 個別プログラムレベル

16 プログラムの個別プログラム評価委員会は、以下の7つの視点で各研究開発プログラムに関して三段階評価（○△×）を行った。

- ① 将来の産業や社会のあり方の変革をもたらすような革新性を有する研究成果が獲得されたか。
- ② 産業や社会のあり方変革に向けた戦略が具体的かつ明確となったか。
- ③ 戦略の実現に向けた課題が整理・明確化されたか。
- ④ 技術的課題を克服するためのアイデア・着眼点の斬新さ、技術的なサプライズは存在したか。
- ⑤ 戦略の実現に向けた道行き（ロードマップ）が適切に描けたか。
- ⑥ 戦略の実現に向けた産業界との連携・橋渡し等が行われたか。
- ⑦ 知財・標準化戦略は明確かつ適正か。

その結果、伊藤、白坂、原田博司プログラムについては、プログラム評価委員が概ね全ての項目で○と評価しており、「将来の産業・社会のあり方の変革に向けた見通しが得られた」と理解された。白坂、原田博司プログラムは2次募集で採択されており、研究期間や研究費総額において不利な条件を克服した高評価であった。

各プログラムについての評価取りまとめを、個別評価書より以下の通り転記する。

① 伊藤プログラム

ポリマー開発において難題とされていた「堅さ」と「脆さ」のトレードオフ関係を突破し、これまでにない軽量かつしなやかなタフ・ポリマー開発に成功し、タイヤでは摩耗速度を60%低減、アミド樹脂の破断伸度では10倍の性能向上を達成した。これら研究開発過程では、基礎研究の知見・アイデアを提供する大学と、それら知見・アイデアを製品に応用し、実用可能性を検証する個別企業とをマトリクス関係で結び付ける独特の産学連携体制を採ることにより、企業側のオープン・クローズ戦略性を引き出し、5年間の限られた中で驚異的なスピードで画期的な研究成果を創出した。

また、それら素材は、EVコンセプトカーという形で実用可能性を検証し、国内各所において展示会等を主催することにより、しなやかポリマーの有用性・実用性をアピールした。参画企業においては、既に事業化・製品化に向けた取組が開始されており、自動車産業をはじめ、様々な産業分野に大きなインパクトが予想されることから、将来の産業・社会のあり方の変革に向けた見通しが得られたと判断される。

② 合田プログラム

物理学・化学・情報化学・マイクロ流体工学等の広範囲にわたる最先端技術を結集し、血

液中のガン細胞等を1細胞レベルで高速かつ高精度に検出・識別できる世界初の計測システムを開発した。さらに、インパクトファクター10以上の学術論文も14報受理され、Nature誌で特集が組まれる等、学術的な評価も高い。

しかしながら、5年間という限られた研究開発期間では、所期の目標である様々な生物を対象として多様な変異・機能を1細胞レベルで高速・高感度に検出・識別することまでは実証できておらず、また、産業応用に向けた取組も道半ばの状況にあることから、現段階において、将来のバイオテクノロジー分野に大きな変革をもたらす見通しが確実にたったと言うのは難しいと思われる。今後、東京大学セレンディピティラボ等で産業応用に向けた取り組みが進むことが期待される。

③ 佐野プログラム

パワーレーザーについては、今日、モノづくり分野における材料加工や医療用機器など様々な産業分野に活用されているが、小型で持ち運び自由な世界最小（最高出力密度）の超小型パワーレーザー（掌サイズ）の開発に成功し、様々な企業から実施許諾等が求められているほか、国内企業において事業化・製品化が開始されている。本技術の実用化により、欧米企業が寡占状態にある産業用パワーレーザー分野への日本企業の進出や新たな市場開拓が期待される。

他方、超小型X線自由電子レーザーの開発に関しては、トレーラーサイズまで小型化するという極めて高い目標を掲げて挑戦したが、未だX線レーザーの発振に至っておらず目標未達に状況にあることから、所期構想に描いたような産業・社会のあり方変革に向けた見通しは道半ばの状況にある。

④ 佐橋プログラム

屋内光の太陽電池でも駆動する、超低消費電力の不揮発性マイコン（磁気メモリ搭載）の開発に世界で初めて成功した。また、CPU性能を向上させるキャッシュメモリとしての用途を想定している磁気メモリにおいても、これまでの電流ではなく電圧を用いた新たな書込み原理を確立し、従来の10倍以上の書込み速度と10の13乗回以上の高い書込み回数とを両立させることを世界で初めて実証した。これら研究成果は集積回路技術に関する世界最高峰の国際会議ISSCCにも採択される等、海外からも画期的な成果として注目されている。

しかしながら、現状では国内の技術移転を図るべき半導体産業の基盤が弱く、目標達成に向けた製品開発の見通しが十分に得られていないことから、現段階において将来のIoT社会を大胆に変革し得るような見通しまでには至っていない。

⑤ 山海プログラム

Society5.0社会の実現に向けて、HAL等の介護用機器情報から得られた生体情報をビッグデータ処理し、要介護者の身体状況等に応じた最適なりハビリ・メニューを提供する、世界初のサイバー・フィジカル融合モデル（革新的サイバニックスシステム）を構築するな

ど画期的な研究成果が得られた。しかしながら、開発されたシステムは、HAL 等の一部の限られたデバイスやセンサーから得られた情報を対象としたものであり、5 年間という限られた期間において他の様々なデバイス情報を集積・処理できるシステムにまでは確立できなかったことから、初期の目標である「重介護ゼロ社会」の実現には限定的であり、将来の医療・介護分野のあり方に大きく変革をもたらす見通しが得られたとまでは結論付けられない。今後、他の医療・介護機器等を取り込んだオープン・プラットフォームづくりへの発展が期待される

⑥ 鈴木プログラム

衛星・航空機用等の新規素材として、クモ糸を再現するような軽量かつ強靱な構造タンパク質の開発までは至らなかったが、開発されたいくつかの構造タンパク素材を既存の化学樹脂と複合化することにより、強度や弾性率が向上できることを確認した。また、世界中から集めた 826 種類のクモ遺伝子情報と 200 種類以上のクモ糸の構造解析データとを関連付けた世界初の構造タンパク質データベースを構築し、当該データベースの整備や得られた知財等を梃として関連企業との研究開発コンソーシアムを立ち上げ、ImPACT 終了後も自立的に研究開発が続けられる体制を整備した。このため、ImPACT の限られた期間内において、素材産業の将来のあり方を変革するような研究成果や見通しが得られたとまでは言えないが、今後のコンソーシアムにおける研究成果の創出や実用化が期待される。

⑦ 田所プログラム

1m もの段差を乗り越え、瓦礫の隙間を自在にぬって救命探索等を行う索状ロボットや、サイバー救助犬用のアシスト・スーツ、全天候型ドローンなど 5 種類の独創的な災害ロボットが開発された。また、これらロボットは、一部が実際に災害救助（西日本豪雨災害）の現場に実証活用されたほか、福島ロボットテストフィールドにおける実証テスト等により、実用性をアピールする取組が行われた。

しかしながら、研究開発の過程において、民間企業等の取り込みや AI との融合等も必ずしも十分でなかったため、実用化の見通しには課題を残す結果となった。このため、現段階において将来の災害対応のあり方を変革させるほどの見通しが得られたとはいえない状況にある。

⑧ 藤田プログラム

将来、高レベル放射性廃棄物を核変換処理するための第一歩として、世界で初めて Pd-107 の放射性同位体の分離法（偶奇分離法）の確立及び核変換処理に成功した。これら研究成果は、学術的な成果として国際的にも高い評価を得たほか、国内においては、この概念特許が 21 世紀発明賞により表彰された。しかしながら、Se-79 等の Pd 以外の高レベル放射性廃棄物種については、未だ有効な分離法の確立や核変換の実現可能性を示す研究成果は得られておらず、所期の目標達成には今後相当長期にわたる研究開発が必

要になると考えられることから、現段階において高レベル放射性廃棄物の無害化・資源化に見通しが得られたとは言いがたい。

⑨ 宮田プログラム

微細なナノポア空間を通過したウイルス等の電位変化を機械学習させることにより、ウイルスや微生物等を1粒子レベルで高感度・識別可能な、新しい計測原理に基づくセンサー開発に成功した。また、ヒトの嗅覚原理を模倣し、複数の気体成分の状態から機械学習により臭気を高感度識別するセンサーを開発し、事業化・商品化の見通しを得た。これら研究成果は、物質科学とAI等とを融合した、独創的かつ先駆的な研究成果と言えるが、将来の産業・社会ニーズに具体的にどのように結びつけ、社会実装を目指すかなどの全体戦略が依然不明確であり、現時点において将来の公衆衛生のあり方に変革をもたらすと見通しは得られてない。

⑩ 八木プログラム

開発された光超音波3Dイメージング技術は、これまで計測が困難であったヒトの毛細血管の状態やリンパ液の流れ等が可視化できるものであり、医療関係者からは乳がんやリンパ浮腫の診断への応用が期待されているほか、さらなる臨床データの蓄積等により、将来的には様々な疾病予測等にも応用できる可能性が指摘されている。こうした医療技術としての応用可能性を実証するためには、今後様々な医療機関と連携して、相当期間の臨床試験や臨床データの蓄積や関連規制への対応が必要であり、ImPACT期間中の5年間の成果のみをもって、将来の医療分野を大きく変革する見通しを得られたとの判断は困難である。

⑪ 山川プログラム

個々人の脳情報を簡便に計測できる携帯型ブレインマシンインターフェースの開発や、恐怖体験等のヒトの記憶をデコーディングする技術、脳情報とロボットとをつなぎ一人の人間（脳）が複数のロボットを制御できる可能性の実証など、将来の脳情報サービス産業の創出に向けた画期的な研究成果が得られた。また、脳科学分野における学術知見も大きく前進させ、国内外から評価を得ている。しかしながら、プログラムが掲げた脳情報サービス産業の創出という野心的な目標を達成するには、これら研究成果を産業化するための更なるエビデンスの蓄積や具体的な民間企業を巻き込んだ共同研究や事業化戦略が必要であり、ImPACTの5年間という限られた期間中において将来の脳情報サービス産業の創出に向けた見通しが得られたと言いはない。

⑫ 山本プログラム

スパコンでは処理できないような複雑な組合せ最適化問題を世界最速で処理できる、光の量子効果を用いた新型コンピュータ(2000ビット機)の開発に成功し、クラウド公開を行った。また、最終年度にはそれを上回る10万ビット機の開発も完了しており、現在、参画企業側において性能確認を行っている。さらに、量子暗号技術については、光

量子による暗号技術を用い、将来計算機の性能が向上しても情報漏洩の危険のないデータの分散保存システムを確立し、東京圏内において実用レベルの分散保存ネットワークを構築・実証した。

これら研究成果により、情報通信分野における将来のあり方変革を見通すには、様々な業種・企業等と連携し、実問題を処理するためのソフトウェアやアルゴリズム開発が必要であり、ImPACT の 5 年間という限られた期間内では道半ばの状況にあり、今後、ImPACT 参画企業による事業化・実用化に向けた取組が期待される。

⑬ 白坂プログラム

大型・高額なためこれまで軍事利用等に限られていた合成開口レーダ（SAR）衛星を、わずか 3 年間の研究開発で世界で最も小型・軽量化することに成功し、2020 年に打ち上げる見通しを立てた。衛星の小型化により、打ち上げコストが大幅に縮減するため、複数機を連動させたコンステレーションが可能となり、災害時の即時観測のみならず、平時において大規模プラントや高速道路の常時観測、船舶航路のモニタリング等が可能となり、現在、様々な関係者から宇宙ビジネスの開拓が期待されている。このため、今後の宇宙ビジネスの本格化に向けた画期的な研究成果が得られ、そのビジネス化が着実に進みつつあることから、将来の宇宙産業のあり方に大きなインパクトをもたらすことが確実と判断される。

⑭ 野地プログラム

独自に開発したスーパー酵素と光学デジタル計測技術を融合することにより、ウイルスを簡便・高感度に計測できるデジタル計測装置を開発し、大手海外医療機器メーカー等と連携して、米国のリテール・クリニック市場等に展開する予定としている。また、生物細胞を用いずに長鎖 DNA を効率的に増殖させる新たな DNA 合成法等も確立され、今後、バイオ研究分野への普及が期待されている。このようなバイオ産業の発展に向けたいくつかの基盤技術が確立されたが、ImPACT の限られた期間内では、創薬等のモノづくりを抜本的に変革する見通しまでは得られていない。

⑮ 原田香奈子プログラム

医療教育現場での活用が期待されるバイオニックヒューマノイドや、これまで困難とされた脳外科手術を想定した医療用手術ロボット等の試作機が開発された。しかしながら、これら研究成果が医療用技術として有用性を実証するためには、様々な医療関係者・機関と連携した臨床試験等が必要であるが、ImPACT の 3 年間という限られた期間内では、それらエビデンスの獲得等が十分ではなく、また、今後の医療規制対応に向けた見通しも必ずしも明らかになっていないため、現段階において将来の医療分野のあり方を変革する見通しが得られたとは言い難い。

⑯ 原田博司プログラム

約 6.9 億もの医療用カルテ情報をオンラインで 10 秒以内に解析処理できる超ビッグ・デ

一タ処理システムを開発し、三重県等の自治体の協力を得て実用性を現地実証した。また、将来の完全在宅医療を想定し、在宅状態で患者の健康状態等をリアルタイム把握するための多段無線中継システム等を確立した。本システムは、医療介護現場の利用だけでなく、災害発生時における広域無線通信システム等としても応用可能な技術であり、実際、西日本豪雨災害では京都府の災害支援活動に役立てられ、その後、各地の自治体等から問い合わせを受けている。本成果は、Society5.0 社会の実現に向けた基盤技術となるものであり、今後の医療・介護分野のあり方に大きな変革をもたらすことが確実であると判断される。

【数値指標・最終評価報告書より転記】

表 4-1 論文・学会発表・受賞

PM	伊藤	合田	佐野	佐橋	山海	鈴木	田所	藤田
論文数	254	146	127	250	134	89	90	152
うち IF が 10 以上	34	14	2	11	0	0	0	0
学会発表	1086	487	785	1165	179	271	215	469
国際学会招待講演	408	64	147	263	30	37	69	43
受賞数	166	46	7	59	12	12	7	14
PM	宮田	八木	山川	山本	白坂	野地	原田香	原田博
論文数	119	60	230	447	20	47	42	37
うち IF が 10 以上	5	0	7	48	0	4	0	0
学会発表	472	209	1268	1132	101	247	255	108
国際学会招待講演	93	25	60	253	0	36	23	24
受賞数	26	8	24	39	1	16	16	14

表 4-2 特許出願件数

PM	伊藤	合田	佐野	佐橋	山海	鈴木	田所	藤田
特許出願数	87	56	42	206	31	128	44	42
うち海外	15	16	20	92	0	10	8	12
PM	宮田	八木	山川	山本	白坂	野地	原田香	原田博
特許出願数	113	98	51	42	2	17	27	11
うち海外	45	33	19	12	1	5	7	4

〈所見〉

「将来の産業・社会のあり方の変革に向けた見通しが得られた」という評価が、16 プログラム中で 3 プログラムにとどまったことは、ImPACT が既存の技術開発トレンドの延長線上には無い、極めて挑戦的な目標を設定した事業であったことを端的に示していると考えられる。一方で、追加調査の結果、ImPACT 事業開始後、2019 年 10 月末までの段階で 15 件

のベンチャー企業が活動を開始している。その中には、すでに 100 億円規模の資金調達を行っているケースも確認された。ImPACT が目指した「起業、創業の精神に満ちあふれた国」という目標は、十分に達成されたと考えるべきであろう。

また、事業期間中に目標達成を成しえなかった場合においても、その技術開発の過程でなされた研究開発によって、数多くの成果が得られていることが明らかである。例えば、山本プログラムにおいては、光の量子効果を用いた我が国発となる新型コンピュータ(2000 ビット機)の開発に成功し、クラウド公開も行っている。田所プログラムでは、開発された災害ロボットが、実際に災害救助(西日本豪雨災害)の現場に実証活用された。合田、野地プログラムで開発された計測技術、藤田プログラムで開発された核変換処理技術などは、産業・社会に対して高いインパクトを持つものとなっている。さらに、山海プログラムが提唱した「サイバニックスシステム」や、山川プログラムが目指した「大規模脳情報蓄積基盤の構築と脳情報産業の創出」などは、産業や社会の変革を目指した試みとして、独創的かつイノベティブであったと評価すべきものであろう。

ImPACT のテーマのうち、「誰もが健やかで快適な生活を実現」と「新世紀日本型価値創造」においては、医療や個人情報にかかわる一部のプログラムに対し、「関係する規制への対応に関する見通しが明らかになっていないため、産業変革の見通しを得ることが困難であった」という評価がなされている。このことは、開発成果の社会実装における喫緊の課題を提示したものとなっている。アンケート調査において、「規制・制度改革」が内閣府主導の利点であるとする回答が少なかったこととも矛盾しない。

4-2 プログラム全体レベル

- ・プログラム目的がいかに達成されたか

プログラム評価委員が、以下の 7 つの視点で各研究開発プログラムに関して三段階評価（○△×）を行ったところ（参考 6）、表 4-3 に示した結果となった。

表 4-3 プログラム評価委員（延べ 74 名）の評価概要

	○	△	×
①将来の産業や社会のあり方の変革をもたらすような革新性を有する研究成果が獲得されたか。	53	20	1
②産業や社会のあり方変革に向けた戦略が具体的かつ明確となったか。	38	31	5
③戦略の実現に向けた課題が整理・明確化されたか。	35	37	2
④技術的課題を克服するためのアイデア・着眼点の斬新さ、技術的なサプライズは存在したか。	66	8	0
⑤戦略の実現に向けた道行き（ロードマップ）が適切に描けたか。	37	33	4
⑥戦略の実現に向けた産業界との連携・橋渡し等が行われたか。	37	35	2
⑦知財・標準化戦略は明確かつ適正か。	52	22	0

「アイデアの斬新さや技術的なサプライズ」については、非常に高い評価が示された。「革新性を有する研究成果が獲得された」との評価も比較的高いが、「戦略が具体的かつ明確となった」、「戦略実現に向けた課題が整理された」、「戦略実現に向けたロードマップ」や「産業界との連携・橋渡し」、など、戦略実現を具体化する段階では評価が低くなっており、目的達成にむけた継続的な取り組みが必要とされている。

- ・科学知識の生産

ImPACT プログラムは大学や企業が失敗を恐れずに困難な研究開発テーマを実施することにより、優れた科学的な知識の生産も期待されるものである。プログラムより報告された論文リストには多様な成果が含まれているが、そのうち論文データ番号（DOI）が確認できたものは 1,800 本であった。

論文のうちで引用数の高い論文について他のプログラムと比較をすると以下の表のようになる。

表 4-3 Web of Science で各資金制度への謝辞がある論文数の推移

(WoS 中の約半分の論文のみが謝辞を記載。なお、CREST, ERATO では謝辞ではなく著者住所に JST とプログラム名称の記載を求めているため、著者住所欄に各ファンド名称が記載されていたものも含む)

出版年	ImPACT	SIP	FIRST	NEXT	CREST	ERATO	科研費 (注2)
2009 年	0	0	8	0	1,504	465	14,726
2010 年	0	0	191	0	1,572	403	16,294
2011 年	0	0	595	264	1,757	421	18,112
2012 年	0	0	1,006	676	1,828	405	19,740
2013 年	0	0	1,152	821	1,870	347	21,614
2014 年	8	2	1,035	778	1,882	368	21,919
2015 年	114	134	504	507	1,876	466	22,970
2016 年	346	333	222	314	2,050	438	26,495
2017 年	518	497	135	229	2,693	468	31,988
2018 年	412	482	146	123	2,407	363	29,337
合計	1,398	1,448	4,994	3,712	19,439	4,144	223,195
Top1%論文割合 (2009-17 年) (注3)	1.7%	1.9%	3.0%	2.0%	1.5%	2.8%	0.8%
Top10%論文割合 (2009-17 年) (注3)	17.0%	11.1%	20.4%	17.1%	13.9%	18.3%	9.9%
著者に大学を含む論文	83%	85%	88%	96%	93%	94%	-
著者に独法を含む論文 (注4)	48%	40%	43%	28%	26%	25%	-
著者に企業を含む論文	15%	18%	14%	10%	8%	9%	-
大学と企業との共著論文	12%	14%	11%	9%	7%	8%	-
独法と企業との共著論文	5%	10%	5%	3%	2%	2%	-
海外との共著論文	31%	12%	30%	21%	24%	28%	-

注1) 全て Article, Letter, Review, Proceedins Paper のみの集計。

注2) 科研費は謝辞に「KAKENHI」等の名称の記載がある論文のみを測定しており、JSPS としか書いていないものは含めていない。

注3) 出版年が最近の論文はまだ引用が多くはなされないため、最近の論文しかないファンドは割合が低くなる傾向がある。

注4) CREST, ERATO では著者住所に JST の記載を求めているため、これらを「著者に独法を含む論文」には含めていない。

論文データベースを用いて、論文の謝辞に各制度名が含まれていたものを示した。表中の引用数 Top1%、Top10%は、各論文に複数振られている学問分野のうち、少なくとも一つの学問分野の中で引用数が Top1%、Top10%に入った論文をカウントしている。

その結果、ImPACT は Top1%論文が 1.7%、Top10%論文が 17.1%であり、ImPACT よりも科学的研究が重視されていた FIRST や JST の ERATO よりは高インパクトの論文割合は少ないが、CREST よりは高い結果であり、NEXT や SIP とは同程度である。参考に示している科学研究費補助事業と比べれば極めて高い。

なお、出版されたばかりの論文は引用される期間がまだ十分ではないため、ImPACT およ

び SIP のように直近 4 年程度の論文しかない場合、現時点では低く出る傾向があることには注意が必要である。

ImPACT からは著者に企業を含む論文が 15%生まれており、SIP に次いで高い。さらに大学と企業との共著論文も 12%と、同様に SIP に次いで高い。また、海外との共著論文は 31%とプログラム中で最も高く、海外と連携した研究活動も比較的多く行われたことがわかる。

また八木プログラムで開発された光超音波イメージングが、医学応用や非破壊検査で他分野の学会から受賞するなど、計測技術の開発を中心として、計測やイメージング技術に関わる物理・化学的な研究分野と機械学習等の AI 解析技術の融合、さらにその技術が適用される臨床医学等の応用分野との連携により、新たな学際的な融合領域が創出されつつあることも特筆される。

これらのことから、ImPACT プログラムは社会変革を目指し社会実装につながる活動を重視するプログラムであるが、その基盤となる優れた科学的知見が多く生まれているとともに、大学と企業との共同によって科学的知見が生産されていると言える。

5. ImPACT プログラムの効果（インパクト）の評価

1) ImPACT への参加が、研究活動、研究成果に及ぼした変化

追加調査によると、ImPACT プログラムに参加していなかった場合にも、同様の研究開発を行っていたという回答は1割強程度であり、実施しなかったという回答が35%に上った。また5割程度は何らかの変更をして実施したであろうと回答している。

また、ImPACT がなければ同様の研究を実施しなかったという回答について、その理由をきいたところ、「同等の規模の他の資金制度がない」(75.3%)を筆頭に、「ImPACT で実施した研究開発テーマを対象とする他の資金制度がない」(67.5%)、「研究開発を実施する上で必要な研究開発装置・設備・データ等の資源にアクセスできない」(58.7%)となっており、資金総額の大きさだけでなく、実施テーマに対する公的資金が他に存在しないことや、資源へのアクセスができないことがあげられている。

この結果から、ImPACT プログラムは大学・研究機関、民間企業の双方の参加者にとって、これまでと異なるテーマや資源による研究活動を促進したと言える。

表 5-1 ImPACT に参加しなかった場合に、同様の研究開発を実施したか

理由	全体		大学・研究機関		民間企業	
ほぼ同様に実施	26	11.7%	20	12.7%	6	9.2%
変更して実施	116	52.0%	82	51.9%	34	52.3%
実施しなかった	81	36.3%	56	35.4%	25	38.5%

a) ハイリスクで挑戦的な研究開発の推進

具体的に ImPACT プログラムに参加したことによる効果（参加しなかった場合を想定しての差）を確認すると、まずは、研究開発の実施速度、規模を拡大できたという回答が多い。大規模な公的投資により、大学・公的機関、民間企業ともに、より規模の大きな研究開発を、より早いスピードで実施できていることに ImPACT の効果が見られる。

さらに、ImPACT が目指した、より挑戦的な研究開発テーマを設定できたという回答が9割近くにのぼっている。参加した研究者のマインドを大胆かつチャレンジングな方向に転換させることができたと考えられる。

表 5-2 ImPACT に参加した効果（参加しなかった場合との差）

理由	全体		大学・研究機関		民間企業	
（研究開発の実施速度を高められた）						
当てはまる	173	70.3%	127	73.0%	46	63.9%
どちらかと言えば当てはまる	57	23.2%	37	21.3%	20	27.8%
どちらかと言えば当てはまらない	11	4.5%	7	4.0%	4	5.6%
当てはまらない	5	2.0%	3	1.7%	2	2.8%
（研究開発の規模を拡大できた）						
当てはまる	157	64.3%	112	64.7%	45	63.4%
どちらかと言えば当てはまる	65	26.6%	50	28.9%	15	21.1%
どちらかと言えば当てはまらない	14	5.7%	6	3.5%	8	11.3%
当てはまらない	8	3.3%	5	2.9%	3	4.2%
（より挑戦的な研究開発テーマを設定できた）						
当てはまる	144	59.8%	102	59.0%	42	61.8%
どちらかと言えば当てはまる	74	30.7%	52	30.1%	22	32.4%
どちらかと言えば当てはまらない	16	6.6%	14	8.1%	2	2.9%
当てはまらない	7	2.9%	5	2.9%	2	2.9%

同様に、ImPACT での取り組みに対する自己評価においても、挑戦困難なハイリスク・ハイインパクトな研究開発を実施したとの回答は 9 割近くにのぼる。ただし、「斬新なアイデア・着眼点で技術的課題を克服できたか」「全く新しい原理等を産業技術につなぐ」「概念実証」ができたかについては、特に民間企業について、達成できた割合が若干落ちる。リスクの高い研究について、実際にそれを成功し、産業へとつなぐことは 5 年程度の短期間では容易ではないことが示されている。

表 5-3 ImPACT での取り組みの自己評価①

理由	全体		大学・研究機関		民間企業	
（通常の研究制度では挑戦困難なハイリスク・ハイインパクトな研究開発）						
達成できた	69	29.5%	51	31.9%	18	24.3%
ある程度達成できた	141	60.3%	92	57.5%	49	66.2%
あまり達成できなかった	18	7.7%	12	7.5%	6	8.1%
ほとんど達成できなかった	6	2.6%	5	3.1%	1	1.4%

(斬新なアイデア・着眼点で技術的課題を克服)						
達成できた	64	28.3%	52	32.9%	12	17.6%
ある程度達成できた	118	52.2%	80	50.6%	38	55.9%
あまり達成できなかった	35	15.5%	20	12.7%	15	22.1%
ほとんど達成できなかった	9	4.0%	6	3.8%	3	4.4%
(全く新しい原理等を産業技術につなぐ「概念実証」)						
達成できた	53	23.9%	44	28.0%	9	13.8%
ある程度達成できた	104	46.8%	75	47.8%	29	44.6%
あまり達成できなかった	50	22.5%	29	18.5%	21	32.3%
ほとんど達成できなかった	15	6.8%	9	5.7%	6	9.2%

このような傾向は、16の各プログラムに対するプログラム評価の結果にも現れている。

評価項目「技術的課題を克服するためのアイデア・着眼点の斬新さ、技術的なサプライズは存在したか」「将来の産業や社会のあり方の変革をもたらすような革新性を有する研究成果が獲得されたか」の2つについての評価者による評価は総じて高い。

他方で、「戦略の実現に向けた課題が整理・明確化されたか」という評価項目の結果は、6つの評価項目の中で最も低い。評価者の自由記述コメントにおいても、現場での実証実験が十分に行われていないことや、技術的あるいは商業的・社会的な課題を検討することが時間的にも不十分であったことが散見される。

b) 社会・産業の変革に向けた取組

社会・産業の変革につなげるためには、まず、産学連携などの共同関係が生まれることが重要となる。追加調査においても、ImPACTに参加することによって、それまでになかった新たな共同研究関係が多数生まれたことが示された。先述の通り、その多くがプログラム終了後も維持されているとの回答も多数であり、新たな研究領域の創出やイノベーションの促進につながることが期待される。

また、ImPACTに参加した効果として「科学技術的知識・情報を得ることができた」という回答が大学・研究機関、民間企業ともに90%以上に及び、基礎研究の最新の知見をいち早く産業・社会に適用する契機となったと考えられる。

表 5-4 ImPACT に参加した効果（共同研究関係）

理由	全体		大学・研究機関		民間企業	
（セクター（アカデミア・産業界）を超えた共同研究関係が新たに生まれた）						
当てはまる	117	49.2%	86	50.6%	31	45.6%
どちらかと言えば当てはまる	64	26.9%	47	27.6%	17	25.0%
どちらかと言えば当てはまらない	35	14.7%	26	15.3%	9	13.2%
当てはまらない	22	9.2%	11	6.5%	11	16.2%
（セクター内の共同研究関係が新たに生まれた）						
当てはまる	135	56.5%	105	61.4%	30	44.1%
どちらかと言えば当てはまる	62	25.9%	44	25.7%	18	26.5%
どちらかと言えば当てはまらない	21	8.8%	12	7.0%	9	13.2%
当てはまらない	21	8.8%	10	5.8%	11	16.2%
（これまで有していなかった科学技術的知識・情報を得ることができた）						
当てはまる	158	65.8%	114	66.3%	44	64.7%
どちらかと言えば当てはまる	63	26.3%	44	25.6%	19	27.9%
どちらかと言えば当てはまらない	15	6.3%	12	7.0%	3	4.4%
当てはまらない	4	1.7%	2	1.2%	2	2.9%
（これまでアクセスできなかった研究開発装置・設備・データ等の資源にアクセスできた）						
当てはまる	93	39.1%	68	41.0%	25	34.7%
どちらかと言えば当てはまる	78	32.8%	52	31.3%	26	36.1%
どちらかと言えば当てはまらない	44	18.5%	34	20.5%	10	13.9%
当てはまらない	23	9.7%	12	7.2%	11	15.3%

ImPACT での取り組みに対する自己評価においては、「研究・産業領域を跨ぐ大きな課題の解決を指向した」という回答は 8 割程度と高く、「産業・社会のあり方変革を意識したバックキャスト型のアプローチ」とした回答も高い。ただし、「研究開発成果の産業界への橋渡し」まで達成できたかについては若干下がり、大学・研究機関は 62%、企業は 55% である。

表 5-5 ImPACT での取り組みに対する自己評価②

理由	全体		大学・研究機関		民間企業	
(研究・産業領域を跨ぐ大きな課題の解決を指向)						
達成できた	65	28.5%	54	33.8%	11	16.2%
ある程度達成できた	117	51.3%	75	46.9%	42	61.8%
あまり達成できなかった	39	17.1%	29	18.1%	10	14.7%
殆ど達成できなかった	7	3.1%	2	1.3%	5	7.4%
(産業・社会のあり方変革を意識したバックキャスト型のアプローチ)						
達成できた	43	19.0%	35	22.0%	8	11.9%
ある程度達成できた	119	52.7%	78	49.1%	41	61.2%
あまり達成できなかった	55	24.3%	40	25.2%	15	22.4%
殆ど達成できなかった	9	4.0%	6	3.8%	3	4.5%
(研究開発成果の産業界への橋渡し)						
達成できた	41	18.3%	35	22.3%	6	9.0%
ある程度達成できた	92	41.1%	62	39.5%	30	44.8%
あまり達成できなかった	57	25.4%	41	26.1%	16	23.9%
殆ど達成できなかった	34	15.2%	19	12.1%	15	22.4%

C) 研究開発マネジメントの変革に向けた取組

PI の 9 割が、PM のマネジメントの下での円滑な研究開発を評価しており、PM に研究開発のマネジメントを大胆に委ねるという ImPACT の試みは十分に機能したと考えられる。権限の委譲については PM の満足度も高い。

表 5-6 ImPACT での取り組みの自己評価③

理由	全体		大学・研究機関		民間企業	
(PM のマネジメントの下での円滑な研究開発)						
達成できた	126	57.0%	99	62.3%	27	43.5%
ある程度達成できた	82	37.1%	53	33.3%	29	46.8%
あまり達成できなかった	10	4.5%	4	2.5%	6	9.7%
ほとんど達成できなかった	3	1.4%	3	1.9%	0	0.0%

表 5-7 ImPACT の PM マネジメントについての PM の意見

	非常に評価できる	ある程度評価できる	あまり評価できない	全く評価できない
PM に卓越した構想力、知見、企画力、マネジメント能力等を求めたこと	15	1	0	0
PM の雇用形態やエフォート管理	5	8	3	0
研究計画策定や予算配分等の大きな権限を PM に付与	14	2	0	0
PM の裁量による期間中での研究機関及び資金配分の柔軟な変更	15	1	0	0

一方で、PM の雇用形態やエフォート管理について、非常に評価できるとする意見は少なかった。ImPACT では、PM はマネジメントに専念して JST に雇用されることを原則としながらも、大学出身者については教員業務に 10%、ImPACT の研究業務に 10% までのエフォートを例外的に認めていた。主導するプログラムを PM 自らが受託できることについては、エフォート管理が疎かになる、マネジメントの適正さに疑念を抱かれる等の可能性が指摘され、後継事業では当該事業以外に限り研究エフォートを認めるべきとされている（制度検証報告書）。

しかしながら、PM がマネジメントに専念したプログラムと自らも研究を行ったプログラムの評価結果を比較すると、自らも研究を行ったプログラムの評価が高い傾向にある（図 5-1）。

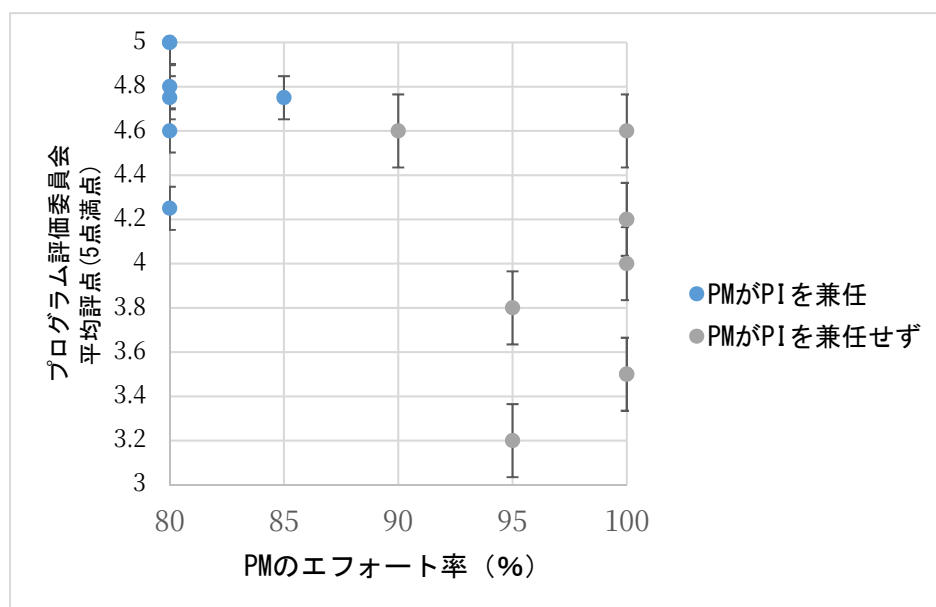


図 5-1 プログラム内での PM の PI 兼任の有無とプログラム評価との関連

〈所見〉

ImPACT が対象とした研究開発は、成功時には産業及び社会に大きなインパクトが期待されるが必ずしも成功するとは限らない、ハイリスク・ハイインパクトなものである。

実際に、ImPACT に参加した大学・研究機関は、ImPACT 以外の他の資金制度では行えない、リスクが高い挑戦的な研究開発に取り組み、また、それを早いスピードで、大規模に実現できている。プログラム評価においても、技術的なアイデア・着眼点の斬新さや、革新性を有する研究成果に関する評価基準について高い結果が得られており、各分野の専門家の目から見ても挑戦的で斬新な研究開発が実現されたと言える。平成 29 年実施のアンケートでも、9 割の PM および PI が、ハイリスク・ハイインパクトの研究を推進する制度として ImPACT が概ね有効かつ効果的に機能していると述べており、ImPACT が他の制度では実現しえない効果をもたらしたと言える。

他方で制度検証報告書では、「グローバルな視点から見れば、実際には必ずしもパラダイム転換をもたらすハイインパクトなプログラムばかりが採択・実施されているわけではない」といった指摘もあった。プログラム評価委員のコメントでも、「学術レベルでは大きな可能性は感じさせるものの、確実な産業応用例が得られているとは言えない」「技術的な革新性が、産業や社会のあり方変革をもたらす革新性へと結実する見通しは示されていない」とも述べられている。また、プログラム評価書では「戦略の実現に向けた課題が整理・明確化されたか」の評価項目は評価結果が最も低い。すなわち、研究開発においてハイリスクで挑戦的な取組は行われたが、社会におけるハイインパクトを実現するための実証フェーズでの取組や課題把握が十分ではない。

実際にはベンチャー企業が既に 15 社生まれ、ImPACT 参加企業における個々の技術製品の事業化などの社会実装の取組は 40 件以上見られる。しかしプログラム評価では、各プログラムで掲げているような社会像に対して、それを実現するための包括的・具体的なロードマップが不足していたり、全体課題のうちの一部の課題のみについて成果が得られていることでは社会の全体変革まで進んでいないという指摘が見られる。また、個々の技術については、適用範囲の整理と戦略、量産化方法や経済性の検討、企業への橋渡しの人材確保などの課題が指摘されている。これらの点について、どこまでプログラム内で実施すべきか、実際の研究期間と PM のマネジメント体制の中でできるのかについては、検討が必要であろう。

後継事業においては、まずは社会変革を将来的に目指す研究開発の取組について、5 年程度の期間内で、どの段階まで進展していればよいのかを明確にすることが必要である。特にハイリスクの研究開発においては、資金制度側が設定するタイムフレームには適合しないものも少なくない。その場合には、プログラム終了後にもその成果を社会実装へとつなげていくシームレスな枠組みも併せて検討することが必要である。また、標準化やビジネスモデルの検討は PM のみで行うことは実体的に難しい場合もある。JST 等の支援を、プログラム終了後にも実施できるような仕組みが必要であろう。

PM の雇用形態やエフォート管理については、制度設計にあたり参考とした DARPA に範を取り、JST が雇用してマネジメントに専念することを原則とした。しかし、PM がキャリアパスとして確立していない日本の状況を考慮して、例外的に「プレイイングマネージャー」を認めた。その結果、図 5-1 に示した通り、当該分野に豊富な知見を持つ大学教員が PM を務めたプログラムの方が、研究成果が評価される傾向にあった。

民間とアカデミアの間での区別も合理性がない、との制度評価報告書での指摘もあり、また出身元のエフォートがないまま長期間経過すると、復職が困難であることは追加調査でも明らかになった。後継事業において一律にエフォート率 100%を求めるのは、民間出身者に対しても適当ではないと考えられる。一方で、自己のプロジェクト内の資金配分権を有する PM がプレイヤーになるのは、資金配分プロセスが不透明と受け取られかねず、利益相反のチェックを適正に行う必要がある。

2) ImPACT のマネジメントが他のプログラムの制度・運用に与えた影響

第五期科学技術基本計画では、「チャレンジングな性格を有する研究開発プロジェクトである革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) について、更なる発展・展開を図るとともに、これをモデルケースとして、関係府省が所管する研究開発プロジェクトへも、このような仕組みの普及拡大を図っていく。」と示されている。ImPACT は PM を中心とする体制のもとで、挑戦的で社会的革新につながる研究開発を行うというモデルである。

本計画に基づき、ImPACT と同様に、JST において、社会的革新に繋がりうる研究開発プログラムを行っている。

JST では、社会・産業ニーズを踏まえ、経済・社会的にインパクトのあるターゲット（ハイインパクト）を明確に見据えた技術的にチャレンジングな目標（ハイリスク）を設定し、民間投資を誘発しつつ、多様な研究成果を活用し、実用化が可能かどうかを見極められる段階（POC）を目指した研究開発を実施する「未来社会創造事業」を行っている。

今後も、内閣府が先進的・先導的なモデルとして事業を実施し、これをモデルケースとして他省庁が本格的に事業の実施・定着を図っていくことにより、政府一丸となって、未来に果敢に挑戦する研究開発を強力に推進していくことが重要である。

〈所見〉

結果的に ImPACT は DARPA と異なる特徴を有する。PM はマネジメントの専門人材ではなく研究者が中心であった。DARPA のように軍事的目的を有する特定の技術的課題ではなく、より幅広く社会・経済の変革をもたらすビジョンにより、自らのプログラムを形成することが求められた。そのために、産業界を中心とするセクター間の連携を形成することが重要となった。また、軍事技術の公共調達のような実装の場も想定しづらく、実装のためのロードマップやビジネスモデルを形成することの難しさも高い。これに付随して、標準化や特許ポー

トフォリオの分析・戦略的対応などの専門的取組も求められた。これほどの人材をいかに育成するのは重要な課題であり、その人材の育成・普及がなければ、他のファンディングプログラムへのモデルへの影響も部分的になる。

さらにハイリスクの研究を、失敗を恐れずに行うという志向が ImPACT の中でしっかりと仕組みとして導入され、関係者の間で共有されていたか。不確実な対象に対して失敗の結果を示すことの意義や、それを前提とした PM のマネジメントをよりポジティブに評価し支援する仕組みを明示的に導入しなければ、他プログラムに対して独創的な研究を進める効果を持ちにくい。

3) ImPACT の理念や制度が機能しなかった点

3つの ImPACT テーマ

- ・制約からの解放とものづくり力の革新「新世紀日本型価値創造」
- ・情報ネットワーク社会を超える高度機能化社会の実現「人と社会を結ぶスマートコミュニティ」
- ・人知を超える自然災害やハザードの影響を制御し、被害を最小化「国民一人一人が実感するレジリエンスを実現」

において、将来の産業・社会のあり方の変革を促すイノベーター的な成果が得られ、そして、ImPACT の究極的な目的であった「起業、創業の精神に満ちあふれた国」の実現に向けた端緒を開くことができた。また、100%の成功であったとは評価されなかった事業においても、世界トップ水準の研究開発成果が数多く得られている。ベンチャー企業創業などを経て、ImPACT 事業期間終了後に社会へ与えるインパクトが本格化するプログラムもあると期待される。FIRST 事業終了時と同様に、ImPACT プログラム参画機関の自助努力を基本としつつも、社会還元を加速する視点での目利きを行い、それぞれのプログラムにて最適な継続方向性を見出すことが今後の課題と考えられる。

一方で、ImPACT では産業や社会のあり方変革という理念を掲げていたものの、基金による 5 年間の時限的な取り組みであったため、研究期間が十分ではなかったという指摘も多かった。また、成果のフォローアップや知財獲得などの事後処理も十分には行っていない。政策的にチャレンジを継続すべき重要なプログラムであると認められるものは、5 年を超えても研究開発期間が延長できるような弾力的な運用も必要と考えられる。

また、ImPACT では PM が掲げた研究開発構想を自ら実施する形を取ったため、大学出身の PM が研究とマネジメントを両方やり、プログラム終了後は大学に復帰するケースが多く、PM 人材の育成や流動化には必ずしもつながっていない。若手 PM 人材の育成は急務であり、ImPACT を経験した PM や PM 補佐が、プログラムマネジメント業務に精通した人材として後継施策で有効に活用されることが望まれる。

さらに、各プログラム研究費総額の増減を可能としたものの、基金の約 80%に相当する

448.6 億円を当初に配分した結果として、進捗状況の評価に応じた戦略的な資金配分を行うことはできなかった(図 5-2)。PM から、もっと大幅な増減額を求める意見があった。PM が思い切ってチャレンジできるように、スモールスタート方式等の弾力的な運用も必要である。

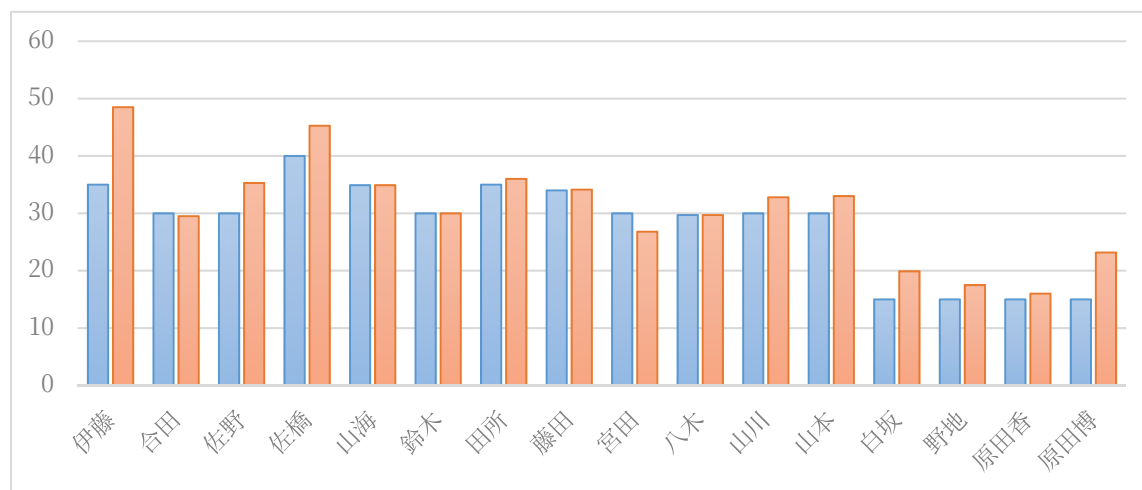


図 5-2 プログラム毎の当初・最終配分額の比較(単位・億円) (青:当初、赤:最終)

表 5-8 によると、ImPACT 事業期間中における「プログラム研究費以外の外部資金の導入」は低調であったと考えられる。知財や技術移転を担当とする PM 補佐を置く、研究期間終了後に知財をプール化するプラットフォームの構築、といった先進的な取り組みが見られたプログラムがあったものの、研究開発成果の産業界への橋渡しという観点からは改善の余地がある。アンケート結果からは、資金的な理由により ImPACT 終了後の開発が留まっているケースも多いことが推測される。さらに、研究開発の実施速度を高め、規模を拡大できたかという問いに対して「当てはまる」とする回答が圧倒的に多いことに比べ、「セクターを超えた共同研究関係が新たに生まれた」という問いに対して「当てはまる」とする回答が約半数、特に企業において低いレベルにとどまっていた。しかしながら、個別プログラムにおいては、民間企業からの投資がなされているケースがある。PM のマネジメント手法とそれらのベストプラクティスとの相関を調べる等、他事業に応用できる程度に汎化したレベルでの解析を行い、その結果を公開することで、ImPACT の経験を広く活かすことが望まれる。

表 5-8 ImPACT での取り組みの自己評価②

理由	全体		大学・研究機関		民間企業	
(全く新しい原理等を産業技術につなぐ「概念実証」)						
達成できた	50	22.9%	41	26.5%	9	14.3%
ある程度達成できた	103	47.2%	75	48.4%	28	44.4%
あまり達成できなかった	50	22.9%	30	19.4%	20	31.7%
ほとんど達成できなかった	15	6.9%	9	5.8%	6	9.5%
(プログラム研究費以外の外部資金の導入)						
達成できた	35	15.7%	29	18.7%	6	8.8%
ある程度達成できた	65	29.1%	56	36.1%	9	13.2%
あまり達成できなかった	55	24.7%	43	27.7%	12	17.6%
ほとんど達成できなかった	68	30.5%	27	17.4%	41	60.3%
(知的財産の獲得、技術標準化の促進)						
達成できた	43	19.5%	34	21.9%	9	13.8%
ある程度達成できた	84	38.2%	54	34.8%	30	46.2%
あまり達成できなかった	52	23.6%	39	25.2%	13	20.0%
ほとんど達成できなかった	41	18.6%	28	18.1%	13	20.0%
(研究開発成果の産業界への橋渡し)						
達成できた	38	17.3%	32	20.6%	6	9.2%
ある程度達成できた	91	41.4%	62	40.0%	29	44.6%
あまり達成できなかった	57	25.9%	42	27.1%	15	23.1%
ほとんど達成できなかった	34	15.5%	19	12.3%	15	23.1%

4) 後継事業に向けた課題・教訓

<国際連携>

- ImPACT は、他の国家プログラムでは取り組むことができないようなハイリスク・ハイインパクトな研究開発の推進を意図するものであるが、よりグローバルな視点から見れば必ずしもゲームチェンジ、パラダイム転換をもたらすようなハイインパクトなプログラムばかりではない等の指摘もある。
- 国際連携は、世界水準の最新の研究開発動向の反映とともに、各国の強みの補完によるハイインパクトな研究の実現や、他の国家プログラムとの連携による限られた資源の効率的な活用にもつながる。また、国際連携する場合には、国内以外の技術実証の場の確保や新たな市場の開拓も可能となる。
- ImPACT では、海外研究者の取り込みや国際的な連携も十分とは言えないとの指摘もあったことから、後継事業では、国際連携を充実・強化していくことが重要である。

<研究支援の体制>

- PM は非常に重い任務・役割が期待されているが、作り込み時に有識者議員等から、知財戦略や将来の事業化構想等も含めて指導や助言を受けたことが大変役立ったとの声が多く PM から聞かれた。
- 一方で、ImPACT が対象とするハイリスク・ハイインパクト研究に合ったものであるか否かの判断は、本来、それぞれのプログラムの分野・領域の国内外の専門家や業界関係者等の意見を踏まえることが必要である。
- 今後は、専属の統括責任者（PD）を配置し、外部の専門家や産業界代表者等の意見を参考に、PM によるプログラムの作り込みからマネジメントの実施管理に至る PM のマネジメントを日常的に指導・監督できる体制に見直すことが適当である。
- また、知財管理や国際標準化、国内外の技術動向調査等については、専門性を持った人材がいらない、JST の支援機能を生かし切れていない、海外との比較分析が不十分である等の指摘があった。このため、後継事業では、研究支援機関において、知財・標準化の支援や技術動向調査等を担う専門人材を戦略的に育成・確保していくことが重要である。
- さらには、前述したように、事業終了後においてもフォローする仕組みを望む意見も多数みられたことから、事業化支援や他プログラムへの接続などフォローをしていく仕組みも重要である。

<政府の目標設定>

- 従前の価値観や固定概念に囚われず、分野・組織を越えて産学官の様々な研究者等か

ら斬新かつ挑戦的な構想等を発掘することが重要であり、研究テーマは一定の広さ（大括り化）を考慮することが必要と考えられるが、研究テーマを大括り化した場合には、具体的な成果が社会・産業界にはイメージしにくく、関心や期待を呼び込みにくいといった指摘もある。

- このことから、社会課題解決や社会変革など、社会・産業界が真に求める具体的な目標（ビジョン）を設定して、本目標に向かって、産学官の研究者が分野・領域を越えて連携して、斬新かつ挑戦的な構想等をデザインして研究開発を進めていく仕組みを構築していくことが重要である。
- また、科学技術イノベーションは、社会課題解決や社会変革などの目標（ビジョン）の実現のための「手段」であることを念頭に置き、ある分野の技術を特定して技術起点（シーズプッシュ型）の目標のみならず、社会課題起点型（ニーズプル型）の目標を設定していくことが重要である。
- したがって、目標を決定する際には、研究者のみならず、社会・産業界の様々なステークホルダーの意見を聴きながら、社会・産業界が真に求める人々を魅了し、野心的な目標（ビジョン）を検討していくことが重要となる。

<プログラムの選定・柔軟な見直し>

- ImPACT においてはプログラムの選定方法・基準が概ね適正であったと判断できるが、各プログラムの内容面では、従来型の研究開発でもできる内容が含まれており、全てがハイリスク・ハインパクトな研究開発ではない等との指摘もある。
- 公募方式の下では、今後も同様の選定手続きを取らざるを得ないが、その際、非連続的・破壊的なイノベーションの創出といったプログラムのねらいを強く意識した構想・アイデアが選定・採択されるようにすることが重要である。
- OPM は、プロジェクトの進捗状況を絶えず把握し、プロジェクトの減速、中止、方向転換等を柔軟に行うとされていたが、研究開発機関の見直しや研究資金の配分変更が低調なプログラムが存在しているという指摘もある。
- このため、プログラム資金の配分についても、大きな成果が見込まれる挑戦的な研究開発であるものの、必ずしも確度が高くない場合には、スタート時は少額の配分に止めて（スモールスタート方式）、研究途中で成功の見通しが認められる場合には、資金を大胆に重点配分していく（ステージゲート方式）という仕組みを積極的に導入していくことが重要である。
- また、ある目標（ビジョン）に対して複数の研究開発プログラム（ルート）があることも想定される。ImPACT では、前述したようにリスクや変革実現までの時間が異なるプログラムを適切に組み合わせたポートフォリオを検討するという視点も十分にあるとはいえなかった。また、基金の約 80%を当初に配分した結果として、進捗の著しい

プログラムの研究費を大幅に増加できる余地は大きくはなかった。

- このため、各プログラムの成功（失敗）の見込みや研究成果（リターン）等を踏まえながら、同一の目標に対して複数のプログラムを採用して資源配分を行い、スモールスタートで競争させて優秀なプログラムに資金を重点配分（ポートフォリオ）していくことも、目標を達成する上では重要である。
- これらのプログラムの選定・柔軟な見直しを行う場合には、技術的な知見のほか、経済社会の課題や将来の産業動向等、幅広い知見を必要とすることから、産学官による外部有識者の意見を聴くことが重要となる。
- ただし、上記のような方式（スモールスタート・ステージゲート／ポートフォリオ）を導入する場合、一部のプログラムが所期の目標を達成できず、中止になるおそれがあるなど、いわゆる「失敗」を免れることはできない。
- 国費を投じる限りにおいて、全ての失敗が許容されるものではないが、失敗を教訓として将来の成功に向けた新たな道筋を発見するなど、「意義ある失敗」はイノベーションのためには必要不可欠で許容されるべきである。
- 一方で、ImPACT では、前述したように、チャレンジに伴う失敗をいかに許容するか、という点について、明示的な基準が示されていたとは言えず、評価者の判断に負うところが大きかった。また、目標を達成できなくても、スピノフを含めた全体の成果を正当に評価することも必要である。
- このため、後継事業では、許容されるべき「意義ある失敗」のケースなど予め示した上で、これを評価基準の視点として導入するなどして、失敗をおそれず挑戦的な研究を進められるような研究環境の構築や雰囲気醸成をしていくことが重要である。
- また、ハイリスク・ハイインパクトな成果を目指すためには、5 年間は短すぎるといった意見もあった。このため、政策的にもチャレンジを継続すべき重要なプログラムは、5 年を超えても研究開発期間が延長できるような弾力的な運用も必要である。

<エフォート管理>

- ImPACT では、PM の要件として、PM 業務への専任を義務付けているが、大学・公的研究機関（以下「大学等」という。）との兼業は例外的に認められている。これは、大学等の研究者が応募しやすい条件として機能したが、大学等と民間企業とで異なるエフォート管理を行うべき合理性が認められないという指摘もある。また、産業界の人材にとっては民間企業に戻ることを考えると、専任はかなり厳しい採用形態であるとの意見もあった。
- また、大学等に所属する PM は、一定のエフォートの下で自ら ImPACT の研究実施者となることができるが、PM のエフォート管理が疎かになる可能性があるほか、研究資金の配分権限を持つ PM が自らの研究開発に研究資金を配分する形になるため、マネジメ

ントの適正さに対して疑念を抱かれかねない。

- 今後は、産業界からも多く応募できるよう、大学等と民間企業とで同じエフォート管理をするとともに、研究資金の配分やマネジメントの権限を持つ者と研究実施者の役割分担を明確にして、適切な資金配分・マネジメントが行われるようにすることが重要である。

<プログラムの評価>

- 有識者会議や ImPACT アドバイザー等による助言が、多角的・専門的な視点からのものであり非常に有意義である、PM と適度な緊張関係を形成する上で必要不可欠である等、評価する声がみられたが、今後は、研究開発のハイリスク・ハイインパクト性を担保し、非連続的・破壊的なイノベーションの創出にふさわしい研究成果を得るためには、分野・領域毎に外部専門家による技術的な評価が不可欠である。
- 一方、一部のプログラム参加者からは、外部専門家による評価（技術ヒアリング）等を念頭に、進捗管理に複雑さが増して PM の自主性を損ね、マイクロマネジメントを懸念する等の課題が提起された。
- このため、原則として、外部専門家による評価は、ステージゲート時（中間評価）及び終了時（終了時評価）のみとし、ステージゲート時以外は、前述の統括責任者（PD）の指導・監督の下、PM の自主性及び裁量を最大限に尊重するメリハリのある進捗管理に見直すことが適当である。また、評価作業や進捗管理が研究者の過度の負担にならないようにするため、評価作業や進捗管理のプロセスの合理化・効率化に努める。
- また、ステージゲートによるプログラムの中止判断だけでなく、適当な場合には PM を交代させる、あるいは評価結果を PM の報酬に反映させるなど、PM のチャレンジ力を最大限に引き出す工夫も必要である。
- プログラムの終了時評価は、現行の評価の考え方に従い、研究開発の到達レベル（Technology Readiness Level）のみで判断するのではなく、研究成果を得るために PM がどのようにアプローチしたかのプロセスにも十分留意して行うことが適当である。

<広報活動>

- 広報については、各プログラムの意義・重要性やインパクトを分かりやすく伝える取組が不足していたため、産業界等における認知度が総じて低く、研究成果を世界に発信するという視点での取り組みも十分とは言えないといった指摘があった。例えば、参加した研究者からは研究成果を産業・発信するイベントを望む声もある。
- このため、事業の趣旨や研究成果を社会にも分かりやすく伝えるイベントの開催や「エバンジェリスト」のような広報専門家の育成・確保等も含めて、メディア戦略や広報体制を抜本的に強化することが必要である。

- また、一部のプログラムではエビデンスが十分でない研究成果を勇み足で発表し、マスコミや関係するアカデミアから批判を受ける問題が発生した。
- 広報活動の実施にあたり、外部専門家への事前照会等を行うことで、発表内容の信頼性や発表方法の妥当性を精査し、誤解を招く内容や表現が含まれないよう留意することが必要である。

<人材育成>

- ImPACT では、「スーパーPM」と言えるような素晴らしいPMが複数生まれ、PM補佐やPIとして多くの若手研究者が活躍し、将来のPM候補人材の育成にも大きく貢献したと言えるが、今後、各省庁に横展開していくには、未だPM人材が圧倒的に不足している。
- このことから、後継事業では、斬新な発想やチャレンジ精神に富んだ若手研究者等を積極的にPMとして育成・確保し、将来にそれら経験者が各界で活躍できる環境を整備していくことが重要である。
- 資金配分機関等が進めるPM人材の育成スキームとの連携を図ることが重要であり、その際、ImPACTの経験や教訓が語れるPM・OBの活用を検討すべきである。将来的にはCSTIにおけるPM人材の登録制度の創設も視野に、人材流動化に向けた環境整備に取り組むことが必要である。

<社会実装>

- ImPACTは、PMの構想・アイデアに基づきプログラムが展開されるため、今後、得られた研究成果の社会実装を図るためには、プログラム期間中から産業界や関係省庁等とのコミュニケーション及び連携を図り、関心を示す民間企業等を積極的にプログラムに巻き込んでいくことが重要である。これに関しては、研究成果移転のためのプラットフォームづくりや、ベンチャーの立ち上げ等に精力的に取り組み、一定の成果を上げている。
- 今後は、社会実装を加速していくために事業化支援等の他省庁の関係プログラムへの紹介・斡旋など、イノベーション創出に向けたエコ・システムの構築に向けてCSTIが積極的に司令塔機能を発揮することが重要である。
- 研究成果の円滑な社会実装を進める上で、研究支援機関における知財・標準化の支援や技術動向調査等を担う専門人材の戦略的な育成・確保が重要である。
- また、新たな制度構築、社会の受容性、将来市場を見据えた標準化戦略等の検討が必要になる場合もあることから、人文・社会科学者の積極的な参加を促していく視点も重要である。
- 民間資金とのマッチングや共同研究など官民協働は社会実装をする上で重要であるが、ImPACTでは、民間の外部資源の活用といった面で課題があるという指摘もあった。

○このため、PD や研究支援機関が積極的に民間の外部資源の活用や連携を主導・支援していくことが重要である。

1) 伊藤プログラム

[illegible]

2) 合田プログラム



『セレンディビティの計画的創出による新価値創造』

合田圭介 PM PMによる産業や社会の変革



東京大 教授
(29.51億円)

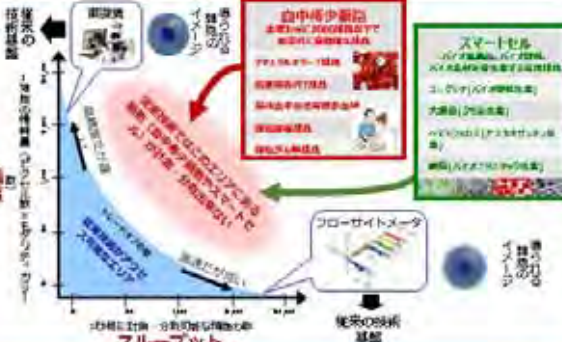
生物が有する多様な変異・機能を、1細胞レベルで高速かつ高精度に検出・識別できる世界初の計測システムを開発し、**早期がん検診サービスの創出やバイオ医薬品創薬の加速化、バイオ燃料用微生物の効率的な探索等、今後成長が期待されるバイオ産業分野のイノベーション創出を図る。**【関連する経済活動規模（推計） 約5,000億円（約15年後）】



PMによるチャレンジ

血中に極微量存在するがん細胞等、生物が有する様々な変異を、1細胞レベルで高速かつ高精度に検出・識別できる世界初の計測システム「セレンディビター（細胞検索エンジン）」を開発する。

(1細胞選別速度10,000細胞/秒、特異性 10^6 （従来技術の1000倍）以上、等)



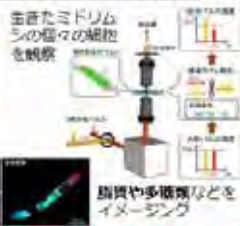
・主な成果

高速分子イメージング法



東京大 小槻准教授

生きたミドリムシの個々の細胞を観察



脂質や多糖類などをイメージング

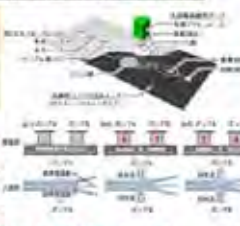
生きた細胞の内部に存在する生体分子を無標識で光学的に検出する。高速誘導ラマン散乱 (SRS) 顕微鏡を実現。

セレンディビターの要素技術の開発

世界最高速の細胞分取法



名古屋大 新井教授



世界最高速 (23,000 cells/s)、分取成功率 (93%)、細胞生存率 (91%) で細胞の分取に成功。

重水による光合成能力計測法



九州大 星野准教授



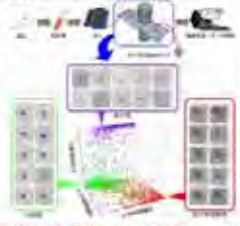
重水を取り込ませてラマン顕微鏡で光合成量を計測。油藻の蓄積能力が高い優秀なミドリムシの網羅的な計測に成功。

セレンディビターへの応用と実証評価へ

血液中の血小板凝集塊を検出



東京大学病院 矢野教授



高速に流れる細胞を無標識で撮影し、機械学習によりヒト血液中の血小板凝集塊を高精度に検出することに成功。

細胞の薬剤応答を検出



東京大 高橋助教

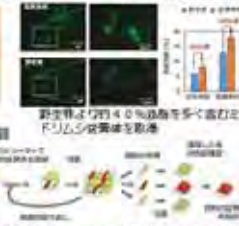


高速明視野顕微鏡を用いて多数の細胞を無標識で連続撮影し、抗がん剤によって生じたがん細胞の形態学的変化を、機械学習により高精度に検出することに成功。

ミドリムシの品種改良法を開発



ユークレナ 岩田准研究員



細胞選別技術を用いてミドリムシを効率的に選抜する手法を開発し、油藻を多く含むミドリムシの取得に成功。

3) 佐野プログラム

『ユビキタス・パワーレーザーによる 安全・安心・長寿社会の実現』

佐野雄二 PM PMによる産業や社会の変革



(35.30億円)

ものづくり（長寿命燃料電池等）における物質組成等を原子レベルで簡易に計測できる
**世界初の「小型X線自由電子レーザー」等を開発することによって、他国が真似できない
分子レベルの超精密加工を可能とし、ものづくり分野における産業競争力を抜本的に
強化する。**【関連する経済活動規模（推計） 約3,500億円（約20年後）】

PMによるチャレンジ

現在、先進各国が競って建設整備を進めている大型施設「X線自由電子レーザー」を、レーザープラズマ加速技術等を応用することにより、**実験室レベル（トレーラーサイズ）で実現可能であることを概念実証**する。（1kmオーダーの加速器を20m化し、1keVのX線ビームを発生、等）

X線自由電子レーザー（XFEL）の小型化基盤技術の確立



700mのXFELを
実験室サイズで
実現できることを
実証する



超小型・低コストパワーレーザーの開発・製品化



インフラ保守・点検、ヘルスケア、加工等様々な産業に向けて社会実装を目指す

主な成果

XFELの小型化

**レーザーの多段化で
安定な電子ビームを実現**

海外の手法

阪大
細田准教授

100FWレーザー
電子発生・加速
10GeV（予定）

高いエネルギーが出るが不安定
多段化で電子発生や加速の条件を制御

電子発生 制御 加速

- 数mmの加速長で500MeVの安定な電子加速を実現。1GeVを目指す
- 加速のエネルギー効率は世界最高

**一体型アンジュレータで
小型化を実現**

KEK
山本教授

SACLAのアンジュレーター
磁場間隔18mm

1個1個の磁石で磁場を生成

1枚の磁石に同期磁場を形成

磁場間隔4mm

従来不可能であった10mm以下の
磁場間隔4mmを実現

超小型パワーレーザーの開発

**多層接合で高出力化を実現
高出力化の問題点**

分子研
平等准教授

励起光を増やすとレーザー媒質が過熱し
レーザーの出力が低下

レーザー媒質中に透明な放熱層を複数
設けて冷却を促進し、熱影響を軽減

励起光 レーザー

放熱効率大 放熱効率小

機械的・熱的・光学的にほぼ
完璧な融合を実現（世界初）

- 掌サイズの発振器で20mJ超を実現
- 発振器体積あたりの出力は世界最高

要素技術の開発・検証フェーズから組合せ実証へ

プロト型完成・国内4社に技術移管

**小型加速機と小型アンジュレータの統合
構築に実証施設を建設し、電子加速を開始**

50m

電子の加速とX線の発生を確認し、小型化の検証を完了

将来イメージ

想定される産業用途

医療用機器(NIDEK)、航空機会社(AIRBUS)
等から、技術導入・実施許諾の申込

加工 加工 加工 加工

4) 佐橋プログラム

『無充電で長期間使用できる究極のエコIT機器の実現』

佐橋政司 PM PMによる産業や社会の変革

東北工大 教授
リサーチ・プロフェッサー
佐橋政司
(45.27億円)

我が国が世界を先導するスピントロニクス技術を用いた磁気メモリ(MRAM)により、メインメモリのみならずLSIの演算処理部までを不揮発化し、超低消費電力化が可能な究極のエコIT機器を実現する。そして、IoTやAI等の進展により爆発的に増大する情報の処理、増大する機器の消費電力の抑制等の社会的課題の解決を図る。【関連する経済活動規模(推計) 約6,700億円(約10年後)】

ImPACTが目指す未来
究極の“不揮発性”エコIT機器
(電源オフ時でも記憶を保持、動作時の消費電力も100pW)
モバイルITは無充電で長時間使用
センサーネットワークの信頼性向上の一環

目指すもの

従来のメモリとMRAMの比較

MRAMの利点

高速動作・高信頼性・低消費電力

MRAMの課題

高速動作・高信頼性・低消費電力

PMによるチャレンジ

【チャレンジングな技術開発のポイント】

- ・スピントロニクス集積回路プロジェクト
新構造のスピントロニクス(SOT)素子により、屋内光等の微弱なエネルギー(100pW以下)でも駆動し、高速処理可能(100~200MHz)な**不揮発性マイコンの開発**。
- ・電圧駆動MRAM開発プロジェクト
電圧パルス制御を用いた新たな電圧駆動方式(書き込み電力:数フェムトジュール以下)を開発。キガビット級の大容量と数ナノ秒の高速書き込み性能、10¹⁴回以上の書き込み耐性を合わせた**メインメモリ等記憶装置へ応用展開**。

・主な成果

スピントロニクス集積回路プロジェクトの成果

① 新構造のスピントロニクス(SOT)素子を用い、SOT磁化反転特有の/パルス幅依存性を世界で初めて実験検証、450psパルスで100%の磁化反転を実現。加えて、この成果をベースに、300nm CMOSウエハとの集積化でSOT-MRAMを試作、350psの高速動作を実現、世界最高峰の電子デバイス国際会議(IEDM 2019)にて発表

② 不揮発性マイコンを実現するため、内部メモリの回路設計と動作タイミングを「内蔵する要素ブロックレベル」にまで検討し、無駄な待機電力を極限まで低減するよう設計。通常の200分の1の駆動電力(100pW以下)で動作することを確認、世界最高峰の集積回路国際会議(ISSCC2019)にて発表。SIP第2期にてシステム側でのIoT/AIチップ開発を推進。

電圧駆動MRAM開発プロジェクトの成果

① Cr下地やIr界面層により磁気異方性電圧効果を、当初より10倍以上に向上。実用レベル(~400Oe/Vm)を達成。

② パルス幅1nsで4×10⁻⁴の書き込みエラー率を実証し、安定な電圧駆動磁化反転を実現。また、回路設計技術からのブレークスルーにより、逆バイアス**を印加して電圧書き込みの安定性を制御する手法を確立。**

③ 書き込み方式からのブレークスルーにより新概念メモリ(VoCSM)**を開発し、高速型と大容量型のコンセプト検証を完了、世界最高峰の電子デバイス国際会議(IEDM2018)にて発表。また、集積回路機能実証試作については、アプリを想定した設計開発及び評価を開始し、スタートアップベンチャーによるチップ開発の推進を図る。**

5) 山海プログラム



『重介護ゼロ社会を実現する革新的サイバニックシステム』

山海 PM

PMによる産業や社会の変革



筑波大学教授
(34.90億円)

少子高齢化の進展に伴い、高齢者等の重介護問題が深刻化する中、**要介護者の自立度を高め、介護者の負担を大幅に減らす**ため、要介護者の脳・神経情報等に基づき介護支援等を行うロボット支援システムを開発し、**「重介護ゼロ社会」の実現に貢献する。**

【関連する経済活動規模（推計）
約4,500億円（約8年後）】

介護する側/介護される側にも快適な未来はない！

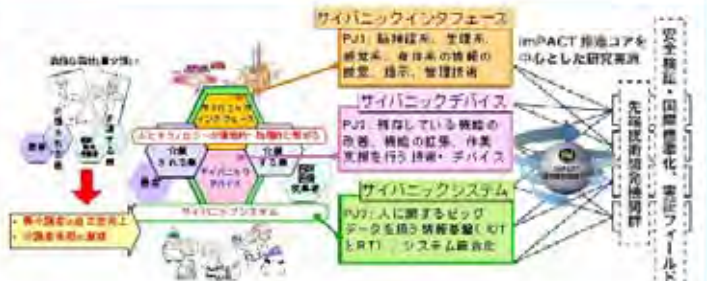
イノベーションによる産業や社会の変革へ！



少子高齢社会が進展する
「働き方・暮らしの価値観が、大きく変わっていく」
「働き方・暮らしの価値観が、大きく変わっていく」

PMによるチャレンジ

要介護者の身体機能の状態等に応じた**ロボット介護支援システムを開発するための基盤技術（脳神経情報等を伝達するインターフェース、身体機能を支援する各種デバイス等）を確立する。**
(3種類以上の新規インターフェース/デバイスの開発、等)



サイバニックインターフェース

- PJ1. 脳神経系、生体系、感覚系、身体系の情報の検定、伝達、処理技術

サイバニックデバイス

- PJ2. 開発している義肢の制御、義肢の制御、作業支援を行う 携帯・デバイス

サイバニックシステム

- PJ3. 人に異なるセンサーデータを用いた情報処理・AI・IoT・システム統合

IMPACT 推進コアを
中心とした研究推進

安全・福祉・国際標準化・実証フィールド等

・主な成果



『超高機能構造タンパク質による素材産業革命』



鈴木隆雄 PM

PMによる産業や社会の変革

鉄鋼の340倍もの強度を有すると言われる「クモの糸」に代表されるように、世界的にも未開拓分野となっている構造タンパク質の設計・加工技術等を開発することによって、**衛星・航空機用や次世代燃料（水素）用等の分野に新素材（高機能性タンパク質素材）を供給する新産業の創出を図る。**
【関連する経済活動規模（推計） 約7,400億円（約10年後）】



Material	Property	Value
Caenorhabditis elegans	強度	272
Spider silk	強度	36
Spider silk	弾性率	14
Spider silk	靱性	340倍

次世代燃料電池 車用水素タンク 旅行者に力を与えない新産業の創出

PMによるチャレンジ

天然物を超える性能・機能を実現する**人工構造タンパク質素材の設計・製造概念を世界で初めて確立・実証する。**
（繊維強度（収縮率3%、耐熱性180℃、引張強度1.6GPa、タフネス350MJ）の実現）



天然に存在する高機能構造タンパク質素材の採取
 高機能構造タンパク質素材の動的分子構造解析
 天然構造タンパク質の機能の網羅的取組・配列解析
 天然構造タンパク質の高機能究明メカニズム解明
 分子設計
 工業用材料化
 分野横断的なフィードバック体制による素材性能の“作りこみ”
 工業用材料用途に適合した人工合成構造タンパク質素材の創出

・主な成果

研究成果例①：構造タンパク質素材を用いた複合材の開発

既存の高機能素材とハイブリッド化することでこれまでない工業用材料やその加工方法を実現



構造タンパク質繊維形態 × ハイブリッド対象素材 × マトリクス樹脂 × 材料成型

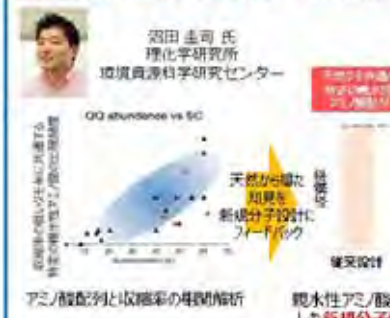
構造タンパク質繊維形態: 長繊維, 短繊維, 織り材, ナノファイバー, 不織布, 膜, 複合

ハイブリッド対象素材: 炭素繊維, アラミド繊維, ガラス繊維, ナイロン, ポリエステル

マトリクス樹脂: 無機化樹脂, 熱可塑性樹脂, 合成ゴム, 天然ゴム

材料成型: 圧縮成型, 射出成型, 成形加工, 3Dプリンタ, オートレーア, SMC, BMC, RTM

研究成果例②：天然構造タンパク質の耐水性メカニズム



宮田 圭司 氏
 理化学研究所
 物質資源科学研究所

QQ abundance vs GC

天然の耐水性メカニズムを新分子設計にフィードバック

アミノ酸配列と収縮率の相関解析

耐水性アミノ酸と疎水性アミノ酸の比率により収縮率が増大

精製工法で製造した複合材

※ CRPAの特性を2021年時点の報告書より引用

▶ 最大荷重、吸収エネルギーが増加し、複合材の破壊挙動も改善



試験片の写真

最大荷重: 100 (CRPA) vs 170 (CF-構造タンパク質複合材)

吸収エネルギー: 100 (CRPA) vs 127 (CF-構造タンパク質複合材)

フォースディplacement (AE) 法による複合材の破壊挙動解析

研究成果例③：構造タンパク質の劣化抑制添加剤の選定

宮田 俊明 氏
 北陸先端科学技術大学院大学
 物質化学領域



構造タンパク質の劣化抑制添加剤の選定/ハイスループットな劣化評価装置の開発

劣化抑制効果比較

構造タンパク質の劣化抑制剤の最適は添加剤・割合を決定

7) 田所プログラム



田所論 P M

東北大学 教授
(36.00億円)

『タフ・ロボティクス・チャレンジ』



PMによる産業や社会の変革

地震発生時の災害現場における救命活動や、老朽化したビルの修繕管理、原発事故現場の除染作業等、**ヒトが立ち入れないような危険な場所で遠隔自律ロボットを効果的に活用**できるよう、それら状況に応じたロボット・コンポーネント等を設計・開発し、**安全・安心な社会の実現に貢献**する。【関連する経済活動規模（推計） 約5,000億円（約5年後）】



PMによるチャレンジ

地震、津波、風水害等の**災害発生時に想定される極限環境下で**、遠隔操作により自律的に人命救助や応急工事等を行うロボット開発に**必要となる共通的なロボット・コンポーネントやインテリジェンス技術等を開発**する。（力/自重比35N/kg(従来の電気駆動モータ等の5~1.0倍)であるロボット用ハイパワーマotorの開発、等）



5種類のロボットプラットフォーム

- ✓ 困難箇所移動技術
- ✓ 極限作業技術
- ✓ センシング技術
- ✓ 極限条件認識技術
- ✓ 遠隔自律知能
- ✓ ヒューマンインターフェース
- ✓ 通信技術・安全技術

タフに鍛え上げる極限技術



フィールド評価会で実用化、ユーザ普及、産業波及を推進

・主な成果

広域災害情報収集（飛行ロボット）



野原健隆 (株) ACSL

九州北部豪雨災害に出動!!
→羽田空港のドローン導入に繋がった
➢ 強風、豪雨、構造物損壊、負荷変動
プロペラ停止でも飛行継続可

瓦礫内人命捜索・情報収集（サイバー救助犬、能動スコープカメラ）



大野和則 東北大学教授

サイバースーツ

長岡直司 東北大学教授

能動スコープカメラ

災害復旧工事（建設ロボット）



吉兼裕 建設ロボット
大阪大学特任教授

➢ 高精度・高出力複合機構
➢ 無人化施工の高度化
➢ 任意視点視覚、般力負荷の操縦支援

産業設備点検・災害予防（索状（太径）ロボット、脚ロボット）



松野寛俊 京都大学教授

索状（太径）ロボット 早稲田大学教授

橋本健二 4脚ロボットWAREC-1

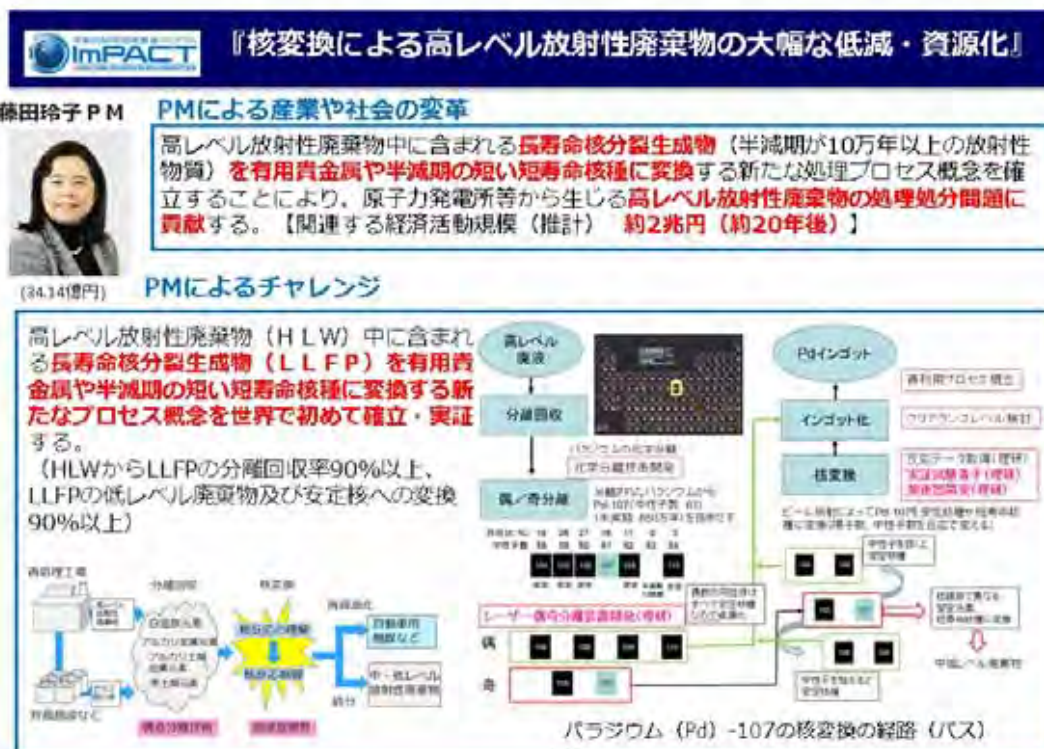
フィールド評価会（屋内外に、模擬倒壊家屋、模擬プラントを設画）

➢ 年2回開催、約500名の参加、ユーザ・産業界に使用シナリオでデモ
➢ 技術カタログによる説明、アンケートによる研究へのフィードバック
➢ 波及による、20社以上の共同開発開始



フィールド評価会の様子

8) 藤田プログラム



・主な成果

高レベル放射性廃棄物の処分概念を変える分離・核変換プロセスを開発

- 高レベル放射性廃棄物からLLFPを分離回収する最適なプロセスフローの提案に基づき、模擬高レベル放射性廃液を用いて確認試験を実施（プロジェクト1）
- PJ2の測定データを取り入れ、バルクでのモデルとシミュレーションにより反応精度を向上させ、核変換データベース“ImPACT/LLFP-2018”を完成（プロジェクト3）
- PJ2とPJ3の成果に基づき、実用加速器概念の仕様を決定すると共に加速器の要素技術を開発（プロジェクト4）
- 高レベル廃棄物を中低レベル廃棄物に変更する概念の構築、リサイクル技術の開発のためにPd-107、Zr-93のクリアランスレベルの提案（プロジェクト5）



主な成果 偶数分離法の開発



北川 健児

- Pdの同位体のうち、**奇数核種のみをレーザー法でイオン化する方法を開発**した。従来法に比べて処理量を10万倍にすることに成功した。偶数核種は放射性物質ではないためそのまま資源として使用できる。
- 六ヶ所村の再処理工場から発生するPd-107をイオン化し電極に回収後、加速器により安定核種に変換することによりPdのすべての核種を再利用できる。



パラジウムの核変換の経路(パス)の提示



櫻井 健児

- 100MeVの陽子、重陽子を用いた**Pd-107、Zr-93、Se-79、Cs-135の核反応データをRIBFを用いて世界で初めて測定**し、核変換の経路（パス）を提示した。
- Pd-107のインプラントターゲットを作製し、世界で初めて実証試験を実施中。
- この核変換を実現する**小型の重陽子加速器仕様を決定**した。
- この加速器を実現する**純ニオブ製超伝導空洞の開発に成功**した。



9) 宮田プログラム



『進化を超える極微量物質の 超迅速多項目センシングシステム』

宮田 令子 PM



(26.80億円)

PMによる産業や社会の変革

昆虫等の優れた生物能力に学び、身の回りの多様な有害・危険物質を1分子レベルで簡便かつ高感度に検出・識別できる「超微細エレクトロニクスデバイス」原理を確立し、**病原性薬剤耐性菌や新型病原性ウイルスの発生、危険空気質等、公衆衛生における将来の危機に備える。**【関連する経済活動規模（推計）**約500億円（約8年後）**】



PMによるチャレンジ

細菌やウイルス等のナノ粒子を1分子レベルでAIにより高感度識別できる世界初の「超微細エレクトロ・デバイス・システム」の開発を目指し、その基本原理を確立・実証する。
 （検出感度の目標スペック：細菌・ウイルス：感度10粒子/μL、PM2.5：数個/mL(直径2.5μm)～数百粒子/mL(直径0.05μm)、有害低分子：pptオーダー）

1. 粒子解析技術



スマートナノポア
機械学習
アルゴリズム
パターン認識
高精度識別

人工嗅覚システム



分子をナノワイヤに吸着させ、加熱・脱離させて蒸留
マルチセンサアレイ
異なる分子認識材料を並列
センサ出力
機械学習
アルゴリズム
パターン認識
空気質の状態を高感度識別

主な成果

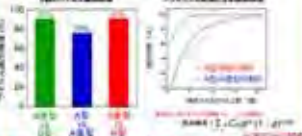
PJ1: 細菌・ウイルス



大阪大学 特任教授 川合 知二

スマートナノポアでIntactな細菌・ウイルス1粒子解析を実現
従来のナノポアでは実現不可能であった1粒子解析を、超薄膜ナノポアと機械学習を融合したスマートナノポアにより実現する。

スマートナノポアで菌種の識別を達成
・超薄ナノポアで得られるパルス電圧波形を機械学習させパターン認識により識別。
・溶液中のインフルエンザウイルスの識別は、1個のウイルスでA型（H1N1）とB型で91%、A型（H1N1）とB型で91%、A型（H3N2）とB型で91%を達成、アンサンブル処理により100%近い識別精度を可能とした。



可燃型のプロトタイプを開発
・可燃型の小型デバイスの開発に成功。
・実使用シーンでの実証が可能に。
ナノポアチップ 読み取り装置

今後の展開
・更なる医療系研究機関での臨床検証
・ImPACT宛ベンチャー（Aipore社）による社会実装を構築

PJ2: バイオエアロゾル



名古屋大学 教授 馬場 嘉信

大気中バイオエアロゾルの捕獲・濃縮・計測を実現
大気中に浮遊している希薄な微粒子をナノ管路デバイスで捕獲・濃縮し、スマートナノポアで検出する技術を開発する。

ナノワイヤで大気中粒子を捕獲・濃縮
コアシェル・ナノワイヤにより水の保持力が大きい水フィルムの形成に成功。大気中の微粒子の水相への捕獲・濃縮が可能となり、捕獲効率70%、濃縮率3,700倍の小型デバイスを実現。大気中粒子



低Rナノポアで薬剤耐性菌を識別
・ナノポアの電流計測回路を開発。ナノポアの導電性を最大化することで、黄色ブドウ球菌薬剤耐性菌（VRSA）と感受性菌の識別（99%）に成功。
・大腸菌薬剤耐性菌モデルの1種（薬剤耐性ポンプ過剰型）と感受性菌との識別は高い精度を達成。

プロトタイプを開発



今後の展開
・更なる医療系研究機関での臨床検証
・社会実装企業（実証中、交渉中）への確実な構築

PJ3: 人工嗅覚システム



九州大学 主幹教授 柳中 智

人工嗅覚で有害物質や危険の予兆を可視化する
超希薄な成分からなる空間ガス、主体ガスをセンシングし多様な使用シーンに対応可能な人工嗅覚システムを開発する。

濃縮・検出を備えたシステムを開発
ナノワイヤ濃縮チップ、16chモジュラビリティチップを一体化したプロトタイプを開発。100倍の濃縮効率、検出感度10p pbを確認。



複合臭の識別を高い精度で達成
・センサ出力パターンを機械学習により、4種モデルガスの識別精度94%を達成。
・複合臭（泡盛）を16chセンサで計測し、その出力を本プロジェクトで確立したアルゴリズムによりパターン認識し、その種類を識別可能であることを実証。



今後の展開
・パナソニック㈱による製品化、社会実装

10) 八木プログラム

ImPACT 『イノベーションな可視化技術による新成長産業の創出』

八木隆行 PM **PMによる産業や社会の変革**

血管等の生体情報を非侵襲・非破壊で可視化する新たな計測手法を開発することによって、病気の早期発見や個人情報セキュリティ対策等、様々なサービス分野に応用し、安全・安心な社会の実現に貢献する。【関連する経済活動規模（推計）
約500億円（約10年後）】

非侵襲で血管網を可視化

非破壊で内部の変化を可視化

PMによるチャレンジ

光超音波を活用した生体情報リアルタイムイメージング手法の概念実証し、世界で初めて血管画像等を非侵襲・非破壊で測定可能であることを確認する。
(分解能: 0.2mm、撮影速度: 20フレーム/秒)

デバイスの確立と国産化 **三次元可視化システムの完成** **価値の実証(医療・美容)**

球面形状超音波センサ
(高解像度3D画像の実現)
・多チャンネル
・広視野観察域

高出力波長可変レーザー
(高解像度表示の実現)
・高速波長切替え
・小型・低コスト

ワイドフィールド可視化装置
(解像度: 0.2mm)

マイクロ可視化装置
(解像度: 0.03mm)

・リアルタイム画像再構成
・高速3D画像表示
・2次元文互換的による数値化と表示

光超音波イメージング

診断X線 診断CT 診断MRI
診断超音波 診断超音波 診断超音波

光超音波イメージング
非侵襲・非破壊
リアルタイム
高解像度
広視野観察域
高速波長切替え
小型・低コスト
高出力波長可変レーザー

診断X線 診断CT 診断MRI
診断超音波 診断超音波 診断超音波

光超音波イメージング
非侵襲・非破壊
リアルタイム
高解像度
広視野観察域
高速波長切替え
小型・低コスト
高出力波長可変レーザー

・主な成果

ワイドフィールド可視化システムの開発

高解像度・リアルタイム3Dイメージングを実現

球面形状超音波センサより0.2mm解像度のリアルタイム3Dイメージングを実証、従来法では実現できない血液酸素飽和度の3Dイメージングを確立

PI: 谷藤真功氏
キヤノン(株)

PI: 伊藤安智
(株)日立製作所



高解像度3D撮影



動脈と静脈の違いを画像化



血液酸素飽和度マップ
(動脈: 赤, 静脈: 青緑)

<https://doi.org/10.12688/11000research.15743.2>

超音波センサの開発

球面形状の超音波センサの開発に成功



PI: 大平克己氏
シャーププロパ(株)

フィルム状の超音波圧電振動子を用いて球面に圧電振動子を1024個配置した世界初の球面形状のセンサを実現



フィルム状
圧電振動子

波長可変レーザーの開発

超小型波長可変パルスレーザーの開発に成功



PI: 和田智之氏
理研グループディレクター

従来の複雑な共振器構造を一新した狭帯域波長同調による短共振器を開発
世界最小クラスの高出力固体レーザーを実現

高速小型波長可変レーザー



PI: 岡田博之氏
(株)メカオプト

1.1) 山川プログラム


『脳情報の可視化と制御による活力溢れる生活の実現』

山川 義徳 PM



(32.80億円)

PMによる産業や社会の変革

情報化の進展に伴う心の病の増加や、高齢者の認知症対策等が社会問題化する中、個々人の**脳情報を簡便に計測できる手法の開発**やそれら脳情報を民間企業等が活用できる**インフラ基盤を構築**することによって、世界初の**脳情報サービス産業**を創出する。

【関連する経済活動規模（推計） 約4,000億円（約20年後）】

PMによるチャレンジ

大型機器でしか計測できなかった個々人の脳情報を、簡便に計測できる手法の開発や、それら計測情報のビッグデータ解析の結果から、**認知症の予防や学習効率の向上等に向けて脳機能を最適化する世界初の制御手法を確立**する。

（大型機器の10分の1のコスト、従来の3倍の脳情報解読能）

世界に先駆けた脳情報産業の創造

日本の脳情報研究とロボット研究は世界トップ



ニューロフィードバック
デコーディング、ロボティクス

脳情報の民生分野でのモデルケース公開

脳情報サービスを育てるイノベーションエコシステムの構築

手つかずの社会問題の多くが脳と心に帰属

情報社会
情報の洪水
サービス経済
難しいコトづくり
高齢化
認知機能の低下

世界で進む医療分野を中心とした脳科学研究

EUの取組	米国の取組
脳をシミュレートし、創薬へ。 2012年～10年約1500億円。	脳神経回路の根本研究。 2013年～10年約3000億円。

・主な成果

脳の最適制御を目指す携帯型BMI

PL: 川人光男 (ATR)



携帯型BMIによる認知・情動機能の改善技術の開発

認知機能に関する神経結合の変化



M. Yamashita et al. *Scientific Reports* (2015)
A. Yamashita et al. *Cerebral Cortex* (2017)

恐怖記憶の消去



Kotani et al. *Nature Human Behaviour* (2016)

EEGから安静時fMRI推定



Hirayama et al. *International Conference on Machine Learning* (2017)

- ・MRIを用いたニューロフィードバックシステムを開発し、**脳機能の改善技術に道筋** → 得られた成果を基にベンチャー企業を設立
- ・携帯型BMIに向けた、NIRSやEEGを用いたニューロフィードバックの研究開発も進捗

脳の深い理解を目指す脳ビッグデータ

PL: 神谷之廣 (京大)



大量のMRIデータ解析技術を用いた個人向け脳情報サービスの開発

脳活動ベースの画像類似度評価



高次元に対する脳活動から類似度行列を作成（特許出願済み）

脳内イメージ解読技術



Horiwaka & Kamiguchi, *Nature Communications* (2017)

- ・MRIを用いた脳のデコーディング技術を開発 → **ライセンスアウトにより民間企業と新規事業化**
- ・今後、個人の脳活動予測モデルを開発予定

脳の高度活用を進める脳ロボティクス

PL: 石黒浩 (京大)



ロボティクス技術を用いた脳のセルフコントロールシステムの開発

運動対話支援ロボット



アンドロイド脳加肢（マルチタスク進化）



- ・脳のウェルネスやエンパワーメントを目指した複数のロボットのプロトタイプを作成
- ・脳への影響を解明し、順次市場へ展開予定

概念実証と共に、産業種コンソーシアム（2018年1月現在28社参加）等を通じた事業化支援も活発化

70

12) 山本プログラム



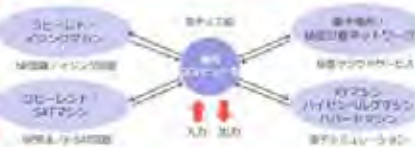
『量子人工脳を量子ネットワークでつなく 高度知識社会基盤の実現』

山本高久 PM **PMによる産業や社会の変革**



(33.00億円)

脳内の神経ネットワークを模した、世界初の新型量子コンピュータを開発し、現行コンピュータでは処理できない大規模な組み合わせ最適化問題等を高速処理できるようにすることによって、**通信分野におけるビッグデータ処理等の技術的な隘路を解決し、**高度情報ネットワーク社会の実現に貢献する。【関連する経済活動規模（推計）**約3.3兆円（約10年後）**】



PMによるチャレンジ

現代コンピュータの性能では、実現不可能な**膨大な組み合わせ処理問題等を同時に処理できる「光ネットワーク型量子コンピュータ」のプロトタイプ開発**を行い、創薬、無線通信、圧縮センシング、金融、機械学習等での適用実証を行う。
 （1つの光スピンを1ビットとする新しい量子コンピュータの原理検証：正解率95%以上、ビット数10,000~100,000の大規模マシンの試作検証）

創薬



無線通信



圧縮センシング



機械学習



ポートフォリオ



・主な成果

光パラメトリック発振器を量子ニューロンとして用い、測定フィードバック回路を量子シナプスとする光・電子ハイブリッド型の全結合・室温動作量子人工脳を開発(2000量子ビット)。
2017/11からクラウドサービスを開始(2019/01までに520万件アクセス)。

光パラメトリック発振器(OPO)光パルス

(解探索)

フィードバック用光パルス

部分OPOパルス

フィードバック回路生成

アナログ出力 (フィードバック情報)

FPGA

デジタル出力

アナログ出力 (OPOパルス情報)

(問題設定)

FPGA測定フィードバック回路

[illegible]

13) 白坂プログラム



『オンデマンド即時観測が可能な 小型合成開口レーダ衛星システム』

白坂成功 PM **PMによる産業や社会の変革**



慶應義塾大 教授
(19.99億円)

自然災害等の緊急時に、雨天や夜間等コンディションを問わず被災地状況等を速やかに把握し、救命・復旧等に当たり得るよう、場所や天候、時間を問わず即時観測が可能な「小型合成開口レーダ衛星システム」を開発し、各地の防災・減災対応に貢献する。

【関連する経済活動規模（推計）
約1,400億円（約5年後）】

平常時：全地球規模の定時観測を実施（コンステレーションの導入）
全地球定時観測データを元にした高付加価値サービスの提供。



民間利用を中心に政府・自治体も想定

災害発生時：オンデマンド即時観測
災害地域の即時情報の入手



政府・自治体の利用を想定

(注1) 加納 富士交通 加納 富士交通 No.122
(注2) 加納 富士交通 加納 富士交通 No.146

PMによるチャレンジ

これまで実現されていない、場所や天候、時間を問わず即時観測が可能な**世界最小のXバンド合成開口レーダ衛星システムを開発する。**

(衛星重量：100kg以下、1機：5億円以下、分解能：1m、等)

ベンチャー企業を立ち上げ、2020年に実証衛星を打ち上げ予定。

【従来のXバンドSAR】



TerraSAR-X

電圧
信号
送受信機

(フェースドアレー方式)

TerraSAR-X	
分解能	1m
衛星質量	1,230kg
送受信器数	384
サイズ	中2.5m×5m (収納不可)

【小型XバンドSAR (ImPACT)】

【収納時】
【展開時】



電圧
信号
送受信機

アンテナ
平面スロットアレーアンテナ方式

(平面スロットアレーアンテナ方式)

ImPACT	
分解能	1m
衛星質量	100kg以下
送受信器数	1
サイズ	収納時 一辺0.7m立方体 展開時 0.7x0.7x5m

小型・軽量SARのコンセプト

- ・小型（高い収納性）
- ・かつ電波効率の良いアンテナの実現
- ・1つの送受信器で高い電力出力を達成

主な成果

「ロケットへの収納を超コンパクトにする高収納型アンテナ技術の開発」

展開時5m（片側2.1m）のアンテナを0.7m（片側0.15m）にまで収納

世界の2大潮流である「アクティブフェーズドアレー方式」と「パラボラ方式」のどちらでもない平面スロットアレーアンテナ方式を選択し、前例のない世界最軽量・高密度収納を実現

JAXA 画像特任教授
東京工業大 廣川教授



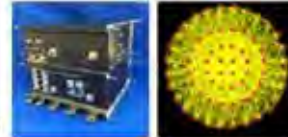
「高品質データの送信を可能にする高速データ送信技術」「難易度の高い小型SARミッションを支える小型衛星技術」

地上へのデータ伝送速度 1.5 Gbps以上

・大型衛星用含めて世界最高クラスの超高速ダウンリンク通信を小型衛星で実現（**小型衛星の世界記録に対して3倍以上の伝送速度**）



東京大・JAXA宇宙研
共同研究成果



64 値振幅位相変調方式

ほぼ100%衛星を進化させた高機能・高性能な衛星バス

・衛星自身が自己の状態や環境等の状況を基に判断し、姿勢変更等の制御を自動的に実施（観測時には自動的に目標地点を指向、非観測時には太陽電池発電や冷却緩和のための姿勢に自動移行。）

・小型衛星ながら大型衛星に匹敵する高いバス機能

・性能の実現に挑む



東京大 中道賢教授



【衛星による自律制御の概念イメージ】

【衛星制御シナリオ】

14) 野地プログラム


『豊かで安全な社会と新しいバイオものづくりを実現する人工細胞リアクタ』

野地博行 PM



東京大 教授
(17.50億円)

PMによる産業や社会の変革

生物が持つ物質生産機能を活用して、有用な物質を人工的に合成する新たな**バイオ産業を創出**するため、それら基盤技術となり得る「人工細胞リアクタ」やDNAの人工合成技術等を開発し、創薬等のものづくり分野におけるイノベーション創出を図る。【関連する経済活動規模（推計） **約3,500億円（約10年後）**】

産業的・社会的インパクト

「創薬」分野で創薬効率を向上させるための基盤技術

「食品」分野で高品質な食品の生産を実現するための基盤技術

「環境」分野で持続可能な生産を実現するための基盤技術

PMによるチャレンジ

人工的に作り出した細胞から多様な有用物質を自在かつ効率的に製造するための基盤技術として、「人工細胞リアクタ」や**DNAの人工合成技術等を開発**する。
 (10⁶の分子群から目的分子を1回で選別、0.5Mbpの人工ゲノムを24時間以内に合成、等)

マイクロデバイス技術



再構成技術



人工細胞リアクタ



従来技術の限界

診断・検査における感度の不足

バイオ分子開発における低いスループット性

従来遺伝子工学の化学的限界

バイオ分析デジタル革命



スーパー酵素創出技術



人工細胞技術



・主な成果

デジタルELISA(はかる;PJ1A)



吉村徹 所長
Abbott

PCRと同等以上の感度を達成
(ゼロコンバージョン検体を用いて検証)

既存のアボット試薬・システムに比べて 300倍の感度達成

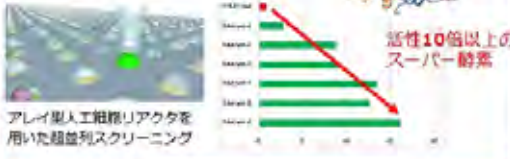


スーパー酵素開発(つくる;PJ2A)



野地博行 教授
東京大

バイオ分析用のスーパー酵素開発に成功



人工ゲノム合成(ふえる;PJ3A)

試験管内DNA合成技術(RCR法)の開発に成功



ゲノム合成を10倍高速化

200

20

既存方法 (Science 2016)



末次正幸 准教授
立教大

DNA合成キット化に成功



基盤技術開発(PJ4A)



田端和仁 講師
東京大

デジタル計測による高感度インフルエンザウイルス計測に成功



現在、米国で急速に拡大しているRetail Clinic市場に展開しデファクトスタンダード化



原田香奈子 PM PMによる産業や社会の変革

『バイオニックヒューマノイドが拓く新産業革命』



東京大 准教授
(16.00億円)

人体を精巧に模倣した「バイオニックヒューマノイド」を開発し、医療分野等での活用を通じて、**試行錯誤のない研究開発・評価環境を構築し、革新的技術の社会実装を加速する。**

【関連する経済活動規模（推計）
約4,800億円（約10年後）】




PMによるチャレンジ

バイオニックヒューマノイド活用による研究開発・評価及び社会実装の加速という提案する**コンセプトを具現化**



感覚的
試行錯誤の医療

「ちゃんと聞きたい」「豆餅みたい」「豆餅？」



定量的
数値化された医療

0.1 mm



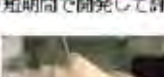
革新的技術の導入
超スマート医療





**産業用ロボット技術を応用した
手術ロボット「スマートアーム」を
バイオニックヒューマノイドを活用する
ことにより短期間で開発して評価**

東大 兎石教授

位置精度：10.14 μm, 遅れ：50 ms級

ツール：
直径 3.3 mm,
屈曲 ±60度,
Surgical Robot
Challenge: Overall
Winner Award受賞

16) 原田(博) プログラム

『社会リスクを低減する超ビッグデータプラットフォーム』

原田博司 PM
京都大学 教授
(23.168億円)

PMによる産業や社会の変革

個々人の健康・医療情報等をビッグデータ化し、それら膨大な情報を効率的に解析・処理するプラットフォームをモデル構築することにより、**Society 5.0が目指すサイバー空間とフィジカル空間の融合による知識集約的な社会の実現に貢献**する。
【関連する経済活動規模（推計） 約200億円（約5年後）】

PMによるチャレンジ

- 各家庭を結ぶ無線通信ネットワーク化技術等を開発することにより、**住民情報等を効率的にビッグデータ化し、個々人のニーズに応じたきめ細かな行政サービスの提供を可能とする超ビッグデータプラットフォーム**を確立する。
- (医療データを基に住民の健康状態を予測するリスクシミュレーションの実施（2拠点以上）等）

**Society 5.0を変える
超ビッグデータプラットフォーム**

主な成果の例

医療・介護・健診の統合解析による地域包括ケアシステム医療・介護・健診等を統合した解析が可能な超高速解析システムの試作に成功。三重地域における医療・介護・健診の実態に即した地域包括ケアシステムを構築。

今後、岐阜県、福井県でも現地実証

国民健康保険被保険者の通院動向の可視化

複数循環器医療施設からの情報収集システムを確立

詳細な検査・治療情報をリアルタイムで収集し、タイムリーに解析結果をフィードバックするため、SS-MIX2標準ストレージを用いて、**電子カルテ内の血液検査値などのデータ、CAIRS 心臓カテテル検査レポートデータを自動収集するMCDRSシステムを確立**。

自治体大 永井学長

環境・生体信号を同時に時系列記録できるマルチセンサー携帯型自動血圧計を開発

自治体大 菊尾教授

新国際無線通信規格Wi-SUN FANに対応した無線機の開発
手軽に101が実現できるマルチホップ対応

京都大学 原田教授

攻撃・異常検知方法、および攻撃・異常検知プログラムの開発

三電電機 米田部長

75

7. 参考資料

- 参考 1 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) アドバイザー名簿
- 参考 2 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) 技術ヒアリング専門家名簿
- 参考 3 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) 制度検証チーム委員名簿
- 参考 4 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) に係る制度検証報告書 (平成 30 年 2 月 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) 制度検証チーム)
- 参考 5 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) プログラム評価委員会委員名簿
- 参考 6 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) プログラム評価委員会
研究開発プログラム (研究成果) に関する評価シート
- 参考 7 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) に係る追加調査結果の概要
- 参考 8 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) 評価ドラフト作成
ワーキンググループ委員名簿
- 参考 9 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) 運用基本方針 (平成 26 年 2 月 27 日
総合科学技術会議決定)
- 参考 10 プログラム別執行状況表