

基礎科学研究の追跡評価

－研究の優位性、成果の普及具合、研究室の活性度－

Ex-post Evaluation on Basic Science Research
-Predominance of Research, Dissemination of Achievement and
Research Activeness of Laboratory-

柳澤 和章

Kazuaki YANAGISAWA

経営企画部

Policy Planning and Administration Department

June 2010

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2010

基礎科学研究の追跡評価

—研究の優位性、成果の普及具合、研究室の活性度—

日本原子力研究開発機構経営企画部

柳澤 和章

(2010 年 1 月 27 日 受理)

原研物質科学研究部を、領域Ⅰ-放射線場物質科学、領域Ⅱ-極限物性・新材料科学、領域Ⅲ-アクチノイド化学および領域Ⅳ-施設開発・運転管理に分割した。各領域に所属する研究室の成果を代表した {5 キーワード} と各研究室に所属する研究員のうち最も論文を輩出した上位 5 人即ち {コア研究員 5 人} の組み合わせパラメーターから、社会経済的評価等を実施した。検討期間は原研物質科学研究部が存在した平成 10 年から平成 14 年の 5 年間である。

(1)研究の優位性

各領域が有する国内での物質科学関連論文シェアは、領域Ⅲ(31%)>Ⅱ(21%), Ⅳ(21%)>Ⅰ(17%)となり、領域間では領域Ⅲが優位だった。原研研究員が筆頭著者になっている論文、即ち研究所オリジナリティーのある論文の割合は、領域Ⅲ(72%)>Ⅱ(69%)>Ⅳ(67%)>Ⅰ(50%)だった。原研論文の独創性の観点からも領域Ⅲが優位だった。

(2)成果の普及具合

社会経済的ネットワーキング（共著論文で評価）の広がり具合は、原研一公（4 領域平均で 18%）>原研一民（3%以下）だった。物質科学研究では、原研は公（大学や公的研究機関）とのネットワーキングが発達した。原一公の範疇では、領域Ⅰ(28%)>Ⅱ,Ⅲ(18%)>Ⅳ(10%)となり、社会経済的評価の観点では領域Ⅰが優位だった。

(3)研究室の活性度

原研オリジナル論文をベースに評価した研究室の活性度は、Ⅳ(25%)>Ⅲ(12%)>Ⅰ(11%)>Ⅱ(4%)となった。研究室の活性度は領域Ⅳ(Ⅲ)が優位だった。

(4)ピアレビュー結果との傾向比較

原研は外部有識者によるピアレビューを実施した。ピアレビューで言う「目的達成度（相対評点）」と本報で言う「研究室の活性度（絶対評点）」およびピアレビューで言う「成果の普及と波及効果（相対評点）」と本報で言う「投入財 1 億円当たりのコア研究員が筆頭となっている論文数（絶対評価）」を相互比較したが、両者の結論は良く一致した。本報が実施した社会経済的評価に相当する項目はピアレビューにはない。

(5)物質科学の経済効果と波及効果

物質科学研究分野に投入された累積金額は 465 億円、人数は 7,629 人・年であり、定量可能な経済効果の合計は、市場創出効果が 769 億円（内 383 億円は付加価値創出効果）となる。全産業に対する生産波及は 1,621 億円、雇用創出は 5,714 人年となる。領域比較では、Ⅰ、Ⅳについては判断できないが、領域Ⅱ＞Ⅲであった。

Ex-post Evaluation on Basic Science Research
-Predominance of Research, Dissemination of Achievement and
Research Activeness of Laboratory-

Kazuaki YANAGISAWA

Policy Planning and Administration Department, Japan Atomic Energy Agency
Watanuki-machi, Takasaki-shi, Gunma-ken

(Received January 27, 2010)

The Department of Material Science, belonged to Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI) was worked from 1998 to 2002. The author divided the Department into four research regions, namely Region I-Material Science in Radiation Field, II-Ultimate Property & New Material Science, III-Actinide Chemistry and IV Facility Development and Operation. Ex-post evaluation of those 4 research regions was performed by the parameter of {5 key words} represented the achievements of each region with combination of {5 core researchers}, they published the large numbers of research papers.

(1) Predominance of the research region

A domestic share of each research region was of the order of III (31%) > II (21%), IV (21%) > I (17%), hence the region III had a predominance. A share of JAERI original papers, namely the paper whose top author belonged to JAERI was of the order of III (72%) > II (69%) > IV (67%) > I (50%). Here the research region III was the predominant.

(2) Dissemination of achievement

A magnitude of socio-economic networking was measured by the co-authored paper, where JAERI-Public Organization (18% from the average of 4 regions) was greater than JAERI-Private Sectors (<3%). The difference was six times. Within the framework of JAERI-Public Organization, the magnitude of co-authored papers was of the order of I (28%) > II, III (18%) > IV (10%). Hence, the research region I had an excellent external networking for disseminating the achievement.

(3) Research activeness of a laboratory

Research activeness of a laboratory was evaluated by means of the numbers of JAERI original papers. It was of the order of IV(25%)>III(12%)> I (11%)> II (4%). The laboratories belonged to region IV or III was judged to have activeness.

(4) The present results were compared with those obtained from JAERI Pier Review, which was carried out by the ex-institute intellectuals. The conclusion was in a good agreement between the rate of attainability of the goal (Pier Review) and the rate of laboratory activity (the present paper). An agreement is also seen between the dissemination of achievement and repercussion effect (Pier Review) and JAERI original papers per 100 million yen (the present paper). Pier Review did not do a socio-economic networking.

(5) Economic effect and repercussion effect of the Material Science.

Accumulated money invested to the Department was 46,500 million yen (M¥) and 7,629 man • year. A sum of measurable economic effect was 76,900M¥ for market creation effect, in which 38,300 M¥ was value added creation effect. Percussion of the products to all industries was 162,100 M¥ and created employment was 5,714 man • year, where a contributed magnitude of research region was of the order of II > III.

Keywords; Post Evaluation, Research Networking, Basic Science Research, Socio-economic Evaluation

目次

1	はじめに	1
2	研究室ネットワーキング	2
	2.1 研究室の分類と代表キーワードの作成	2
	2.2 核となって研究をリードしてきた研究員	6
3	結果と討論	10
	3.1 研究の優位性	10
	3.2 成果の普及具合	12
	3.3 研究室の活性度	18
	3.4 ピアレビュー結果との傾向比較	22
	3.5 論文の引用度	26
	3.6 物質科学研究分野に係わる経済効果	26
4	結論	30
	謝辞	31
	参考文献	31
付録 1	STN を使った論文引用度の検索	32
付録 2	経済性試算の考え方と試算結果	33

Contents

1	Introduction	1
2	Laboratory networking	2
	2.1 Classification of laboratory and fabrication of representative key word	2
	2.2 Core researchers who led their laboratory	6
3	Results and discussion	1 0
	3.1 Predominance of research	1 0
	3.2 Dissemination of achievement	1 2
	3.3 Activeness of laboratory	1 8
	3.4 Comparison with Pier Review	2 2
	3.5 Citation of papers	2 6
	3.6 Economic effect	2 6
4	Conclusions	3 0
	Acknowledgment	3 1
	References	3 1
	Appendix 1: Search for citation index by STN	3 2
	Appendix 2: Consideration on economic trial and its result	3 3

1. はじめに

本報では、基礎科学研究の追跡評価に着目した研究評価を実施した。原研の独立行政法人（独法）移行後において事業所毎に中期計画目標がたてられ、その目標達成度合いに対して評価が実施される場合、それにどの様に対処していったら良いのかという点に着目し、基礎科学の研究評価のあり方について一考したものである。基礎科学研究の研究評価を実施する場合、評価される側をどのような括りにするかで、随分と評価者の対応が異なると考えられる。原研の場合、現在の組織を対象に（ヒト、モノ、カネ）の大きさで考えるとすると、大きい順から、原研全体、研究所（事業所）、部、研究室、個人となろう。追跡評価を実施する場合、一般的に考えられる最小評価単位は研究室(Laboratory)であろう。個人レベルまで下げると相当数の評価作業工程が必要となり、その作業は膨大となるので、現実的ではない。

そこで、基礎科学を追跡評価する一つの試行として、研究室を単位とする外部ネットワーク（以下、研究室ネットワークと称す）等を取り上げ、予備的な評価研究を実施してみることにした。研究対象部門は「原研東海研究所の物質科学研究部」に所属する全ての研究室（最近の原研は“室”ではなく“グループ制”を採用しているので“グループ”とも称すが、本報では基本的には室と表記）を対象とした。評価対象期間は、基本的には当該部創立の1998年（平成10年）から2002年（平成14年）までの5年間としたが、研究室のコアを探し出すケースではさらに昔に遡った。

なお、本報とは別個に、大変重要な評価が原研で実施されていた。それは、研究所内の部を最小単位としたピアレビュー(Pier Review)である。実施主体は日本原子力研究所研究評価委員会（物質科学専門部会）であり、事務局は研究評価推進室、実施体は外部の専門家を中心にしたその分野の専門研究員数名（5名程度）であった。具体的に記述すると、物質科学研究部は平成15年度（2003年度）において、過去5年間の研究業績に関する事後評価を所外専門家で構成された物質科学専門部会により受けており、その評価結果はすでに公開されている⁽¹⁾。平成16年度は、独法化を睨んだ総合評価もなされた。

2. 研究室ネットワークング

2. 1 研究室の分類と代表キーワードの作成

本報では、6 研究グループと加速器管理室（以下、ここでは7 室と称す）を評価の対象とした。7 室による追跡評価を実施し、研究室ネットワークの構築度合いを知ることが本研究の一つの目的である。すなわち、基礎科学研究は費用対効果といった研究評価には馴染まないで、基礎科学研究で生み出された基礎論文がどの位の広がりを持って多くの人々に利用されているかといった事を定量化することで、追跡評価を行うのである。研究室から発信された基礎情報が、国の内外でどの位の大きさのネットワークを構築したかを、例えば、共著論文の数で追跡評価するものである。このための第一歩として、7 室の5 年間に亘る研究活動内容を的確に具現化したキーワード群をまず入手する必要があった。もし、キーワードが適切に選択できれば、それをINIS（International Nuclear Information System、IAEAによって運営されている原子力関連データベースで、論文収録件数は約220万件）に入力することにより7室によって作成された5年間の論文が明らかになり、研究室ネットワークを追跡評価する第1歩が踏み出せるからである。

まず手始めに、7 室に所属する研究グループ名及び各室に課せられた研究大テーマ名（原研企画室が毎年発行する白書記載のテーマ名を指す）を調べ、それらを英文化した。続いて各室の室長（グループリーダー）に、過去5 年間の研究活動を研究室として総括した場合、得られた幾つかの成果を最も端的に具現化するキーワードとして5つ（以下、{ 5 キーワード } と称す）を挙げてもらった。このヒアリングの結果、7 室から和洋混合のキーワード群を得ることができた^(注1)。現場から得られた和洋混合の { 5 キーワード }^(注2) のうち和文に付いては再度室長に電話で直接インタビューし英語化した。その結果を **Table 1** に示す。

(注1) 本件の取りまとめは、物質科学部事務長の戸祭氏（当時）に尽力して戴いた。

(注2) 本報では、{ } は群を表す記号の意味に使うことが多い。

Table 1 Keywords obtained from the 7 laboratories or 4-research group, where original Japanese keywords were translated into English through interview with individual group readers.

領域	番号	グループ名	キーワード
転施 管設 理開 IV発 ・運	1	加速器 管理室	Tandem
			Accelerator
			Booster
			Heavy ion
放射線 場物 質科 学Ⅰ	2	原子核科学 研究 グループ	High energy
			Coulomb excitation
			Nuclear deformation
			Gamma-gamma coincidence method
	3	原子分子 科学研究 グループ	Nuclear activation analysis
			Nuclear data measurement
			Isotopic separation
			Silicon
極限 物性 ・新 材料 科学Ⅱ	4	極限物性 研究 グループ	Selective hydrogen elimination
			Laser abrasion
			Control of chemical reaction
			High-Tc superconductors
	5	材料照射 解析研究 グループ	Ecomaterials
			High resolution element mapping
			X-ray diffraction
			Multicharged ions
アク チノ イド 科学Ⅲ	6	アクチノイド 科学研究 グループ	Irradiation effect
			Reactor materials
			Reduced activation structural materials
			Ceramic functional materials
	7	抽出分離 化学研究 グループ	Irradiation assisted stress corrosion cracking
			Actinides
			Americium
			Transmutation
			Molten salt
			EXAFS
			Actinides
			Solvent extraction
			TODGA
			Partitioning
			ARTIST process

設定領域Ⅲにおいて、Actinidesが重複したので、以後の評価では抽出分離化学グループの代表的キーワードであるActinidesを評価の対象から除外する

この {5 キーワード} は、各室における 5 年間の研究活動を完璧とは言えないまでも比較的正確に代表するものであろうし、成果を表す最小のエンベロープ(括り)にも成り得ると考えた。各室長へのインタビュー時において、本調査目的を詳しく伝えてしまうと、室長がなるべく汎用性のあるキーワードを意図的に著者に与えるかもしれないと考えたため、室長への詳細な説明は避けた。常識的に考えれば、{研究室} の 5 年間の業績を {5 キーワード} で記述すること自体、相当無理があろう。逆にキーワード数を 10、20、30 と増やしていくと、研究そのものの概念が大きく膨らんで発散し、他の研究分野との境界も曖昧となり、纏まりがつかなくなってしまうのは自明である。そもそも忙しくしている研究現場に多数のキーワードを羅列してもらうことが良いことかどうか分からない。実際問題として妥協できるキーワードの数は 5 ヶ程度と考え、{5 キーワード} によって構築される研究室ネットワーキングの評価を、本報は目指した。

本調査結果と前述した原研の物質科学専門部会によるピアレビュー（事前と事後評価の両方がある）の結果とを相互比較する機会があるかも知れないと考え、相互比較可能な方式を考えた。即ち、原研ピアレビュー⁽¹⁾では 7 室を同類項的に領域分けする方法が採用されていたので、著者も同じ分類方法を採用した。つまり、原子核科学研究グループと原子分子科学研究グループを一緒にして放射線場物質科学Ⅰ領域、極限物性研究グループと材料照射解析研究グループを一緒にして極限物性新材料Ⅱ領域、アクチノイド科学研究グループと抽出分離化学研究グループを一緒にしてアクチノイド科学Ⅲ領域、そして加速器管理室を施設開発運転管理Ⅳ領域とするやり方である。この区分に従った場合、追跡評価上困るのは、第Ⅳ領域が 2 グループ合併方式ではなく加速器管理室単独のため、領域に付属するキーワードが {10} ではなく {5} となって、他の領域とバランスを欠く事になってしまう点である。このために生じる不具合は、例えば論文数を評価ツールとした場合、第Ⅳ領域は他領域に比べ最初から過小評価される運命にあるという点である。もう一つ問題が生じた。それは、第Ⅲ領域に所属する 2 つの研究グループが独立的に挙げたキーワードのうち、Actinides が重複してしまったことである。これは、データを提供する側の室長と互いに調整することなく代表的キーワードを提出してもらった結果である。Actinides は、著者の別の調査⁽²⁾で大きな論文群を有していることが分かっていたので、第Ⅲ領域に所属するアクチノイド科学研究グループ又は抽出分離化学研究グループのどちらか一方からこの重複するキーワードを削除しなければ、より正当な評価は望めない。このため、結局後者から重複キーワードを削除した。このような背景により、第Ⅲ領域はキーワードが一つ欠けた 9 つのキーワ

ードで追跡評価した。得られた {5 キーワード} を INIS に入力して、そのキーワードを抄録に含む論文が幾つ存在するか検索し、さらに INIS からの出力（ヒット数）を原研が開発した SOCIOECO プログラム⁽²⁾を用いて分析した。その結果を Table 2 に示す。

Table 2 Results obtained from INIS searches and SOCIOECO analysis

領域	番号	グループ名	キーワード	1998-2002 総ヒット	世界	日本	原研
施設管理 IV 発・運	1	加速器 管理室	Tandem	734	432	302	117
			Accelerator	18,469	16,200	2,243	406
			Booster	248	154	94	20
			Heavy ion	11,928	10,972	948	196
			High energy	10,246	8,908	1,302	308
放射線場物質科学 I	2	原子核科学 研究 グループ	Coulomb excitation	390	355	35	9
			Nuclear deformation	1,452	1,262	190	38
			Gamma-gamma coincidence method	593	540	53	8
			Nuclear activation analysis	0	0	0	0
			Nuclear data measurement	805	612	193	24
	3	原子分子 科学研究 グループ	Isotopic separation	208	195	13	0
			Silicon	11,097	10,161	932	153
			Selective hydrogen elimination	0	0	0	0
			Laser abrasion	5	4	1	1
			Control of chemical reaction	642	563	79	16
極限物性・新材料科学 II	4	極限物性 研究 グループ	High-Tc superconductors	4,415	3,935	480	38
			Ecomaterials	3	3	0	0
			High resolution element mapping	6	6	0	0
			X-ray diffraction	7,467	6,829	635	64
			Multicharged ions	793	712	81	18
	5	材料照射 解析研究 グループ	Irradiation effect	7,874	6,850	1,017	156
			Reactor materials	17,426	14,402	2,935	808
			Reduced activation structural materials	4	3	1	1
			Ceramic functional materials	18	16	2	1
			Irradiation assisted stress corrosion cracking	19	12	7	4
アクチノイド科学 III	6	アクチノイド 科学研究 グループ	Actinides	17,239	15,280	1,937	575
			Americium	1,779	1,544	233	85
			Transmutation	1,670	1,394	264	94
			Molten salt	0	0	0	0
			EXAFS	184	171	13	3
	7	抽出分離 化学研究 グループ	Actinides	意図的除外			
			Solvent extraction	2,175	1,971	204	56
			TODGA	2	0	2	2
			Partitioning	330	266	61	29
			ARTIST process	1	0	1	1

領域Ⅲのキーワードである Actinides を例にとって表の内容を説明する。1998-2002 年の 5 年間で Actinides をキーワードに持つ論文の世界総数は 17,239 件である。この総数の中には、論文に記載された筆頭著者の国籍記載が無く従って国籍が特定できないものがあった^(注3)。そのため、無国籍論文を強制的に検索結果から除外する措置を採った。その結果、日本を除く世界では 15,280 論文、日本国内では 1,937 論文、そして日本論文のうち原研所属のものが 575 論文という結果が得られた。この 575 論文は全て領域Ⅲに所属する論文であると断言できれば問題ないのであるが、実際は他の領域と重畳している可能性も十分にある。そこで、この 575 論文の原研内での所属先を知ることが出来ればそれを分類し、グループに区分できる訳である。この目的で INIS 出力を直接調べたが、得られた区分名は東海研、那珂研といった研究所単位であり、その枝先にある部や室に辿りつけなかった。この原因は単純で、元々 INIS 入力データ作成時に、著者の所属は研究所までとされているからである。つまり、575 論文にタグをつけて正確に所属研究室に配分するようやり方はできないことが分かった。すなわち、このアプローチでは研究室ネットワーキングの作成は出来ない事になったので、別の概念を導入付加して精度の良い評価を目指すこととした。

2. 2 核となって研究をリードしてきた研究員

前節では、{5 キーワード} から得た論文の所属先が、INIS 構造上の問題から研究室名まで到達出来ない事、そのため原研物質科学研究グループ間の比較は不可能であることを報告した。ここでは、研究室ネットワーキングについて別のアプローチを考えてみた。それは、過去から現在までに、研究室のコア（核）となって研究活動をリードしてきた研究員(以下、コア研究員)を何らかの方法で抽出し、この各分野を代表するコア研究員と {5 キーワード} から得られた論文との組み合わせにより、研究室のネットワーキングをうまく構築できないものかというものである。しかし、コア研究員というのは直ぐ抽出できるものであろうか。物質科学研究に携わるある研究室所属の研究員は、職員、外来研究員、特別研究員等々色々な肩書きを持っている。同じ原研職員ではあるが、著者らは物質科学に精通していない蚊帳の外にいる部外者なので、物質科学部所属研究員の研究歴を識別し、この人がコア研究員であるというようなデータを簡単に入手出来ない。相当な時間はかかるであろうが、ある研究室の所属研究員全員に対して一人一人の論文数を検索し、その結果からコア研究員を推定するやり方ならば、それが可能かもしれない。すなわち、研究室ネットワーキン

(注3) INIS では、通常の場合、論文の帰属国は筆頭著者の所属国で判定するが、それが明記されないまま入力している事もある。Actinides というキーワードではそれが約 9% もあった。

グを評価するには、結局のところ、最小単位としての研究員を評価する破目になった。“室”を中心に据え、ある研究室における研究員の出入りをまず5年間正確に把握しながら、そこで研究活動を行った研究員個人の論文数を把握するという大仕事に挑戦せざるを得ない事態となった。このような機会はめったに訪れないと思われるので、以下にその細部を報告する。

(1) 研究員数の把握

まず、室に属する所属職員の姓名を把握しようと考え、最も手近なツールとして2002年4月16日発行の原研電話帳を利用することとした（人事記録などはこの調査のために使用する事はできない）。以後、本報でいう職員数とは、正規職員や外来職員等の区分を全て取り払った研究室所属の研究員の数を指す。電話帳を頼りに職員数を数えてみたところ、物質科学研究部職員数は7室86人/年及び部次長等の役職3人/年であった。事務職及び役職は論文を作成しないものという前提条件を設定し、評価対象から除外して作業を進める事とした（実際はマネジメントに専念する部次長も論文の共著者になることもあり、この前提条件はあまり正確ではないが、止むを得なかった）。5年分の職員数の増減を正確に知るには、少なくとも年度毎の電話帳をそれぞれ用意し、一々職員の出入りをチェックしながら職員数を把握すべきであろうが、本調査ではそれを省略し、2002年のデータが5年分を代表していると大雑把に仮定した。すなわち物質科学研究部に在籍した研究員の延べ数は概略 $86 \text{ 人/年} \times 5 \text{ 年} = 430 \text{ 人} \cdot \text{年}$ と想定した^(注4)。

(2) 論文数の把握

物質科学研究部の各室で、5年間の研究のコアとなって当該分野をリードしてきた人、すなわち簡単に言えば5年間に沢山の価値ある論文を作成した人を、幾人に設定するのが良いのかは当初判断材料が無かった。そこで、取り敢えず各室所属研究者全員（電話帳ベースの職員）に対し、まずINISを使ってどの位の論文を過去に作成しているのかを調べてみた。個人の履歴に着目したので原研にどの位勤務したとかどこの部署に所属していたといった制限枠は、取り敢えず考えない事とした。所属の枠を取り払った主たる理由は、研究員によっては兼務となっている人があって所属枠を限定すると、調査が困難になる

(注4) 物質科学研究部がピアレビュー用に作成した公開データ⁽¹⁾と比較してみると、5年間のトータルで職員数は307（職員）＋46（職員外）＝353人・年と報告されている。電話帳推定値430人は、ピアレビュー用数値に対して21%過大評価である。この誤差は、恐らく人事的な異動により生じたものと考えられるが、本調査は数人のコア研究員を把握する作業に最終的には集約されるため、研究員総数に関する誤差はあまり結果に影響しないと考える。何故なら、コア研究員がコアの肩書きをなくすのは主として退職か異動によるものであろうし、誤差の多くは職員外研究員の人事異動によるものと考えられるからである。

という背景があったためである。当初は、総論文数による論文ランキングを行えば、まず原研のベテラン研究員がランキングの上位に浮上してくると思った。稀には、若いながらベテランに負けずに論文を沢山書き上げた頑張り屋の研究員がランク上位に顔を出すかも知れない。室毎の所属研究員数のばらつきは承知の上で、各室毎に論文ランキングのリストを作り、上位から5人を無作為に抽出してみた。これは、部全体で見れば7室から各々5人を抽出したことになるから、合計35人である。この35人・年という数値は、7室430人・年の約8% ($35/430 \times 100$) に相当する。本調査では、各室から抽出されたこの上位5人からなる論文作成者を以下総称して「コア研究員5人」と定義した。

(3) コア研究員の抽出

INIS 検索により、著者らは全ての研究員がこれまでに作成しかつ INIS に登録した論文を数え上げ、ランキングを作成した^(注6)。その結果から著者が得た「コア研究員5人」を **Table 3** に示す。調査では、個人名に対応した論文数が得られたが、表では実名を挙げると差しさわりのあるかもしれないので、イニシャル表記とさせてもらった。

(注5) 「コア研究員5人」、即ち全体の4割の人数で作成した総論文数は、物質科学研究部全体論文数の約70%である。

(注6) 上記研究室毎の論文ランキング作成途上で苦労したのは、電話帳に載っている研究員に関する姓名(漢字)の正確な読み取りとローマ字表記の仕方である。INIS への論文登録は本人によるローマ字表記が直接そのまま使われから電話帳から推定した名前が間違っていると論文検索に失敗する。まず研究員一人一人の姓名をチェックするという作業が必須になる。その際、同姓同名の研究員がいると両人の論文数は正確に検索できないが、幸いなことに今回はそれがなかった。また、作業時間増加の一因は固有名である。例えば「佐藤」研究員の場合、SATO、SATOH、SATOU といった表記の仕方が可能である。INIS 検索作業においては、研究室単位での論文数を把握できれば良いので、それらバリエーション表記を and で繋ぎ検索する方法を採用し、この問題は解決した。研究員評価ではこのような問題も生じることを読者は認識しておく必要がある。

Table 3 {5 core researchers} determined by the ranking of papers

Group IV	Group I	
加速器管理室	原子核科学	原子分子科学
Y. T.	O. M.	Y. A.
T. S.	S. N.	T. K.
T. H.	I. H.	S. T.
M. M.	H. Y.	F. K.
H. S.	O. A.	H. M.
Group II		
極限物性		材料照射解析
H. K.		I. A.
K. T.		J. S.
Y. H.		F. K.
O. S.		A; T.
Y. K.		S. K.
Group III		
アクチノイド科学		抽出分離化学
M. K.		T. S.
N. A.		M. Y.
A. M.		T. I.
O. Y.		H. M.
H. H.		W. M.

この作業で設定した前提条件について一言する。総論文数検索では著者の所属を無視した。この意味は、電話帳から名前を知り得た時点で当該研究員は物質科学研究に従事していることは明白であり、所属に言及する必要が無かったからである。検索の期間は5年ではなく、1970年頃から2002年頃までと大幅に広くした。これは、研究室における研究員の異動内容を正確に知ることが出来なかった事およびコアとなる研究員であるならばかなり長期間その研究室に所属しているであろうと考えた結果である。この年数無視のやり方は、物質科学研究の1998-2002年を対象に評価すると宣言した本報の初期設定条件と矛盾しているが、論文は作成を開始してから日の目を見るまでに比較的長い期間必要とするので、このコア研究員の決定には下手に期間を限定するよりは無期限のほうが良いと考えたためである。表から分かるように、ランキング1位に名前を連ねたのは殆どがグループリーダーの肩書きを持つ原研研究員となった。調査では実際のところ、一人一人の研究員の論文数データも知ることが出来たが、ここではそのランキング結果は省略する。

3 結果と討論

3. 1 研究の優位性

{5 キーワード} を設定領域毎に INIS に入力し、得られたアウトプットを SOCIOECO で分析・評価した結果を以下に示す。

(1) 我が国物質科学研究の世界に対する優位性と、我が国物質科学研究における原研の優位性の検討

各研究室から得た 34 のキーワード (actinides は重複したので一つを削除) が、原研物質科学研究を構築すると考える。これは、5 年間で原研物質科学研究が最も成果を挙げた研究領域と理解される。その事が定量的に説明できるのかどうかを検討するため Fig. 1 を作成した。

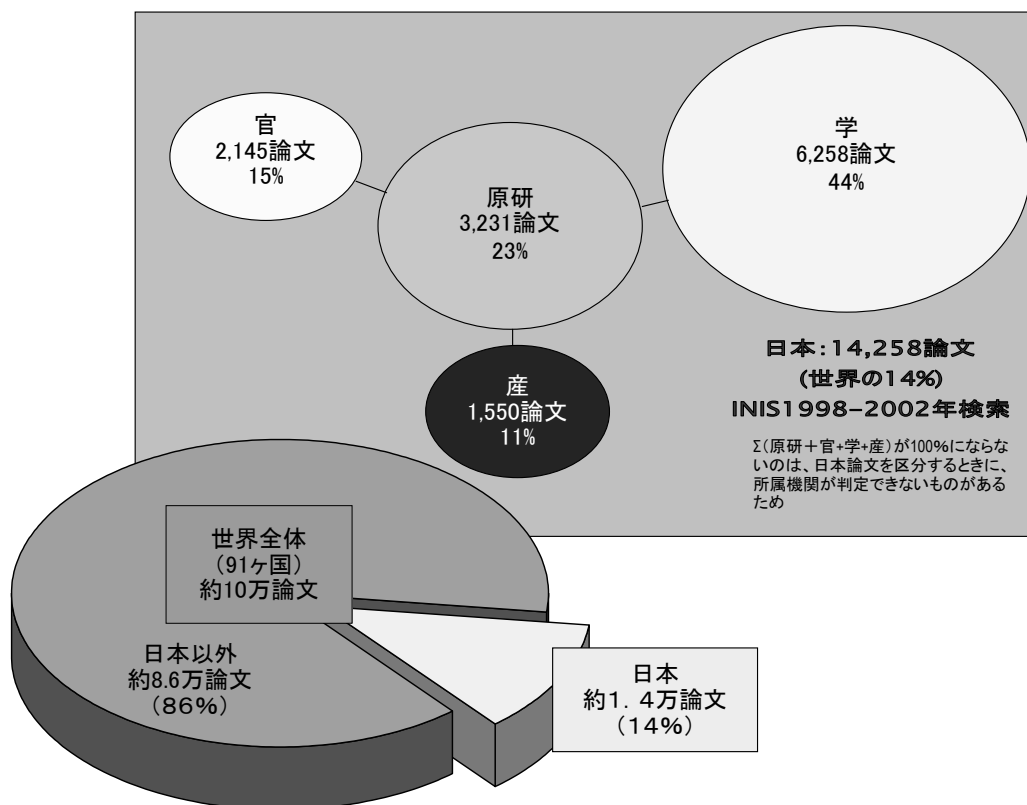


Fig.1 Papers of material science (MS) issued during 1998-2002 at IAEA member countries and the distribution of Japanese papers of MS among JAERI, public sectors, private organizations and universities.

まず、34 キーワードについて重複を許した論文数検索を実施してみた結果、世界（世界とは INIS に原子力データを提供する IAEA の加盟国を指し、その国に存在する原子力研究機関も暗黙のうちに指している）には、91ヶ国で約10万論文が作成されていた。日本ではその約14%に相当する14,258論文が存在した。一国のシェアとしては比較的高いのは当たり前で、自分たちが得意とする研究から34 キーワードを選んでいるからである。日本論文の内訳を見ると、原研論文が占める割合（以下シェア）は23%、学（209大学）が44%、官（185機関）が15%、民（産業界、414機関）が11%であった。原研1機関で我が国論文数の1/4を占めている。原研の中でも勢いのある研究分野から抽出したキーワードを使っただけの評価であるから、多少割り引いて考える必要はあるものの、原研が研究してきた研究分野は我が国物質科学研究群の端ではなくて中心を形成していたと言えよう。原研以外に目を向けると、この研究分野は基礎科学分野に属するためか、全般的に学のシェアが高く民のシェアが低い傾向にあった。

（2）物質科学4研究領域毎にみた原研論文の優位性

世界、日本及び原研の論文数と上述した物質科学4研究領域との相関を調べるため Fig. 2 を作成した。

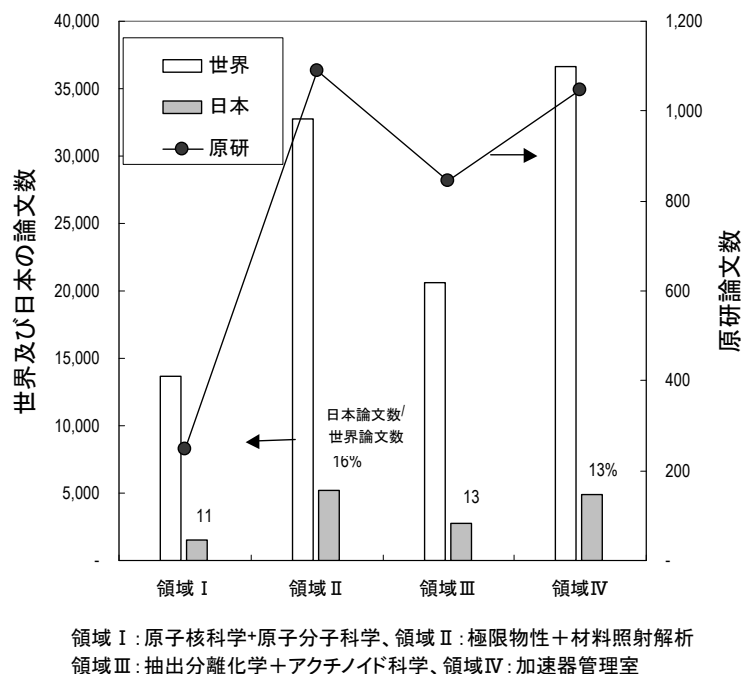


Fig.2 Material Science (MS) papers published in the world, Japan and JAERI as a function of 4 research fields defined independently in the present paper

物質科学 4 研究領域は原研東海研究所の物質科学研究部^(注7) 7 室から構成されている。

世界的な動向では、領域Ⅰ（原子核科学＋原子分子科学）が最も論文数が少なく約 1 万 4 千（同領域における日本論文数はその 11%）、領域Ⅱ（極限物性＋材料照射解析）は約 3 万 3 千（日本はその 16%）、領域Ⅲ（アクチノイド科学＋抽出分離化学）は約 2 万 1 千（日本はその 13%）、キーワード数でハンディ負っている筈の領域Ⅳ（施設開発＋運転管理）が約 3 万 7 千（日本はその 13%）となっていた。全般的に絶対値は異なるが世界、日本、原研が各領域において同じような論文シェア（領域Ⅳ>Ⅱ>Ⅲ>Ⅰ）を得ている事が分った。この傾向一致は、これまで実施されてきた横断的な国際協調に根ざしているのか、それとも何らかの歴史的な経緯に基づいているのかは分らない。

データプロットとして示さないが、国内の総論文数に対する原研論文数の比率（原研論文/日本論文）は、領域Ⅲ(31%)>Ⅱ(21%),Ⅳ(21%)>Ⅰ(17%)となっており、平均では均 23%であった。領域Ⅲの優位性が顕著である一方、領域Ⅰは他の領域に比べ論文数が少なく、基礎科学の中にあってもより基礎的な学問分野なのであろうと判断される。

3. 2 成果の普及具合

（1）基礎科学研究のネットワーキング

基礎科学研究を社会経済的効果の観点から追跡評価するには以下の事項が評価の対象となる。

- ① 有能な知識ストックの増加（発表論文数）
- ② 技能を持った学卒者の育成（研修生の数）
- ③ 新しい科学施設の建設及びその方式の作成（実験施設建設及び特許等の実績）

（注7）原研において物質科学研究を実施している部門は平成 16 年度調査結果⁽²⁾によれば、

- ・ 先端基礎研究センター
- ・ 本部計算科学技術推進センター
- ・ 高崎研材料開発部
- ・ 関西研光量子科学研究センター及び放射光科学研究センター
- ・ 東海研エネルギーシステム研究部
- ・ 東海研燃料サイクル安全工学部
- ・ 物質科学研究部
- ・ 那珂研融合工学部

となっている。原研の物質科学研究論文に対する東海研物質科学研究論文（上記 7 部門中の 3 部門により作成された論文）の割合は、平成 16 年度の調査結果によれば約 75%であった。さらに、その約 50%が物質科学研究部に所属する。

- ④ ネットワークの形成、社会的な相互交流の刺激・促進
- ⑤ 科学技術上の問題解決能力の向上
- ⑥ 新企業の設立（ベンチャー企業の数）

本報では、特に④に着目した追跡評価を実施した。即ち、物質科学研究が進展すれば、同業他者との交流が進み、優秀な研究であればお互いの智恵を出し合う共同研究も盛んになるであろうという想定に基づく追跡評価である。その成果が具現化された形態は、恐らく、共同研究論文が沢山輩出される事に違いないと踏んだ。そこで、Fig. 1 に示した原研、公、民（産）に所属する個々のデータを SOCIOECO でさらに分析し、例えば原研-公との間において、全論文数に対してどの位の割合で共著論文が存在しているのかを評価すれば、ネットワーキングの発達率が分るのに違いないと考えた。その結果を Fig. 3 に示す。

この図から以下の事が分かる。

- 1) 全体傾向をみれば、原研-公>公-産>原研-産の順でネットワーキングが発達しており、原研-公でのネットの発達率が現時点では最も大きい。原研-公に着目して、領域毎のネットワーキング発達率に着目すると、領域 I (28%)>II、III(18%)>IV(10%)となり、ネットワーキング発達率は領域 I が最も大きかった。
- 2) 図中には、原研単独論文のシェア（すなわち原研の研究員が筆頭著者となっている論文数を当該領域の我が国の総論文数で割った値で、所謂原研オリジナリティーを代表する数値）も併せて示し、これと研究ネットワーキング発達率を絡めたところ、以下が分った。
 - 領域 I は、社会経済的ネットワーキングの観点からみると優位性が保持されているが、オリジナリティーのある論文シェアは相対的に小さい(24%)。即ち、同業他者とうまく研究を協力し合っている領域である。
 - 領域 II は総じて中庸で、オリジナリティーのある論文シェアは 30%、ネットワーキング発達率は 17%である。
 - 領域 III は、オリジナリティーのある論文シェアは 56%と最大であるが、ネットワーキングは 18%と大きくない。同業他者との連携の点においてあまり連携が進んでいないものの、原研独自に進めた研究成果が発信されている。
 - 領域 IV は、原研単独シェアが 17%と低い上に同業他者との社会経済的ネットワーキングも発達半ば（10%）である。これは、タンデムのような特異な原子力施設を運営しているために、なかなか協力可能な同業他者が得られないためである。

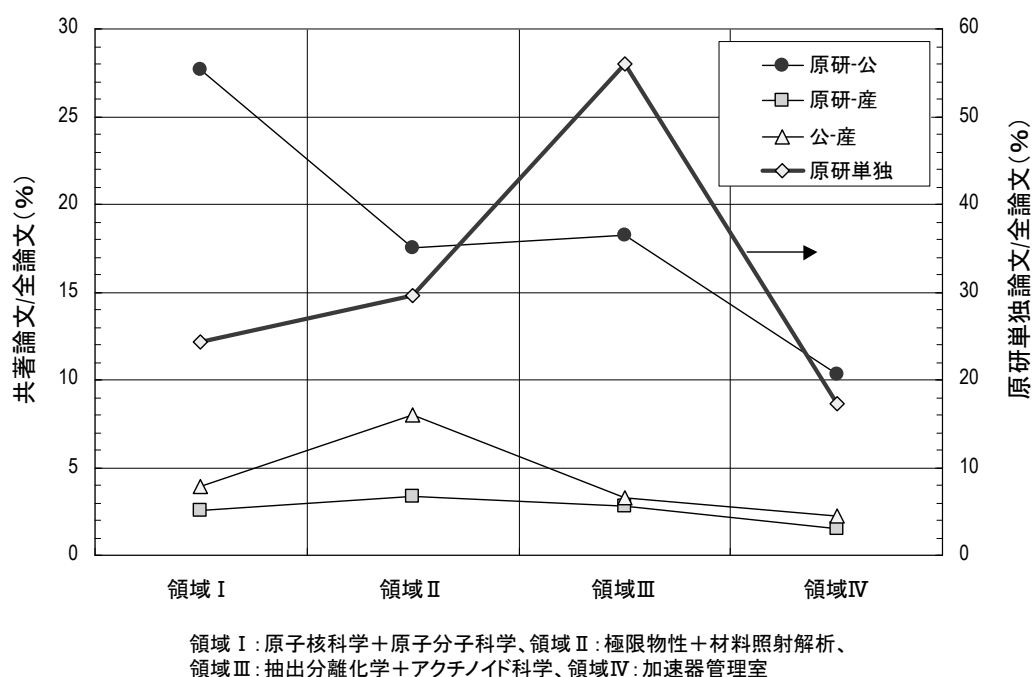


Fig. 3 Indication of network development, defined by the rate of co-authored papers by the total numbers of papers, where JAERI original papers shown by the mark of diamonds are included as a reference

以上から、原研のオリジナリティー研究(独創的な研究)の観点では、領域Ⅲが卓越しているが、社会経済的なネットワークキングの形成の観点では領域Ⅰが秀でている事が分かる。領域Ⅳは原研の施設であるから、同業他者が他に大勢いる訳でなく、社会経済的ネットワークキングの形成が進まないのはこの理由によると考えられる。原研-民の社会経済的ネットワークキング発達率が3%以下と小さいのは原研基礎科学研究の特徴なのであろうか。公-民の社会経済的ネットワークキング発達率は、原研ほど悪くはないがそれでも<8%である。これから、民(産業界)との研究連携については、将来大きく発展していく余地が十分に残されている事が分かる。

(2) 各領域における成果の普及具合

以下、清華の普及具合を矩形図表により観察することとする。この矩形図表はどのようなコンセプトで作成されたかは別報で詳細に記述した⁽²⁾ので、ここでは省略する。領域Ⅰ及びⅡに関する普及具合を Fig. 4 に示す。

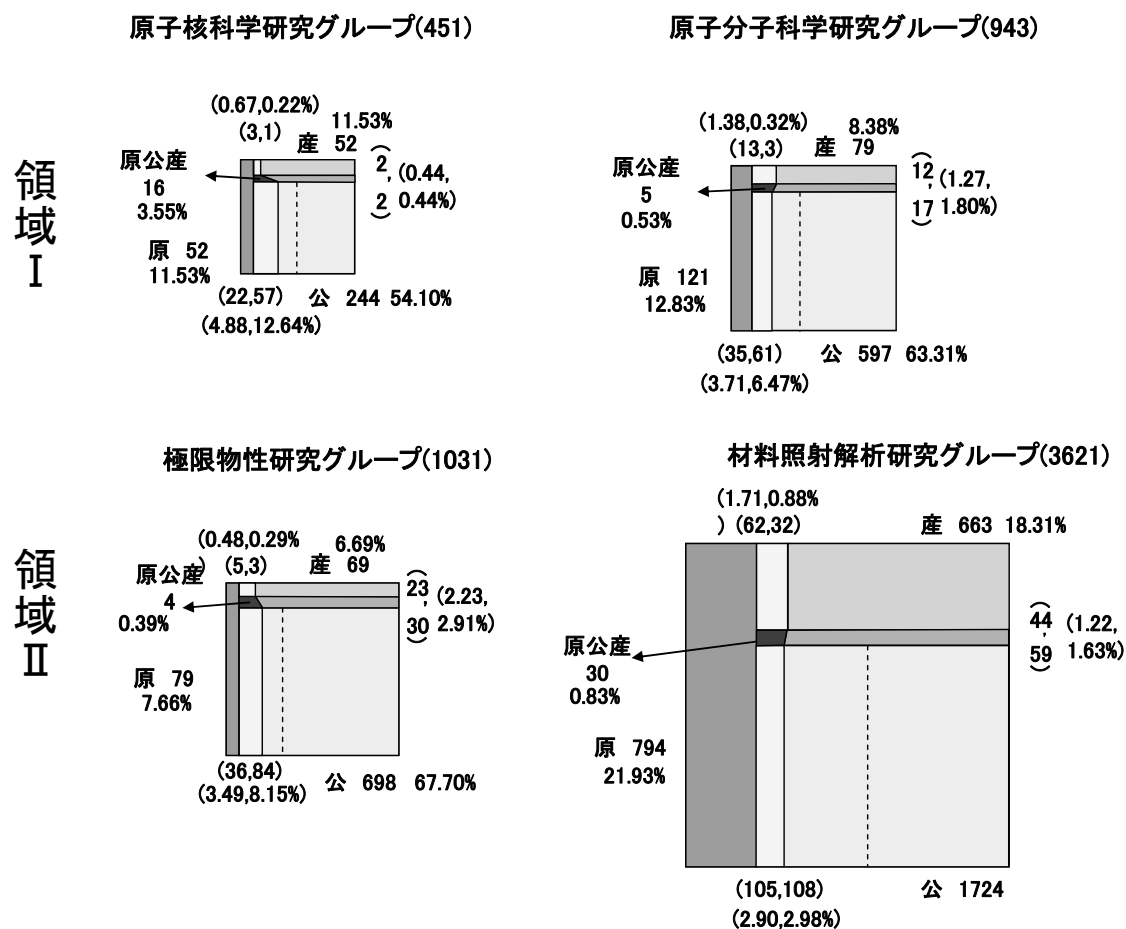


Fig.4 Socio-economic networking of research fields I (top 2) and II (bottom 2)

領域 I :

図の上左側は原子核科学研究に関するネットワーキング図である。総論文数は451で、原研単独の論文シェアは約12%である。総論文数が少ない割には原研-公(大学、官)とのネットワーキングが発達し約18%にも達している点に特徴がある。つまり成果普及という観点からは、この原子核科学研究グループが最も外部ネットを発達させていることになる。同図上右側は原子分子科学研究に関するネットワーキング図である。総論文数は943で、原研単独の論文シェアは13%、原研-公のネット発達率は約10%である。この領域Iにおける原研-公ネットワーキングの発達率は2つのグループ合計で28%となり、他の領域を大きく引き離してトップである。しかし、一方で民とのネットワーキングはあまり発達していない。

領域 II :

図の下左側は極限物性研究に関するネットワーキングを示している。総論文数は1,031で原研単独のシェアは8%と小さい。原-公ネットワーキングの発達率は12%と中庸であるが、特徴的なのは公-産のネットワーキングが他と比べて

大きい（５％）という点である。図の下右側は材料照射解析研究に関するネットワークである。総論文数 3,621 はこれから説明する領域Ⅳに次いで第２位で、我が国ではこの研究分野における研究活動が活発である事を示唆する。この中で、原研単独のシェアは２２％と比較的に大きいことから、原研はその中心にあって大いに研究を推進している母体であると考えて良さそうである。この研究領域のもう一つの特徴は、民（産）の単独シェアが１８％と非常に大きいことである。原・産の社会経済的ネットワークも３％と他に比べれば相対的には大きい、絶対的には発達していない。原・公の社会経済的ネットワークの発達率も６％と相対的に高くない。この研究領域で特筆すべきは、産業界における研究活動が活発である点である。原子力材料の研究という基盤的研究分野では、このように特徴のあるネットワークが構築されるのであろう。纏めてみると、領域Ⅱにおける原研・公ネットワークの発達率は２つのグループ合計で１８％となり、中庸である。民とのネットワークは依然として未発達である。

続いて領域Ⅲ及びⅣに関する社会経済的ネットワーク図を **Fig. 5** に示す。

領域Ⅲ：

図の上左側はアクチノイド科学研究に関するネットワーク図である。総論文数は 2,318、原研単独シェアは２７％と他のグループと較べると最大である。原・公ネットワークの発達率は約１０％と中庸である。同図の上右側は抽出分離化学研究に関するネットワーク図である。今までの議論においては、**Actinides** はアクチノイド科学研究に属するキーワードと考え、抽出分離化学研究のキーワードからは意図的に除外して来たが、ここでは、敢えてそれを入れた形で評価した。その主たる理由は、ここでの議論は研究室の研究成果比較といった要素も含んでいるためである。抽出分離化学研究の総論文数は 2,095 で、原研単独のシェアは２６％と他のグループと比較してみると第２位となっている。纏めれば、領域Ⅲでは原研単独シェアが大きいこと、原研・公ネットワークの発達率が２グループ合計で１８％と第Ⅱ領域と殆ど同じレベルにあること、等が領域Ⅲの特徴である。

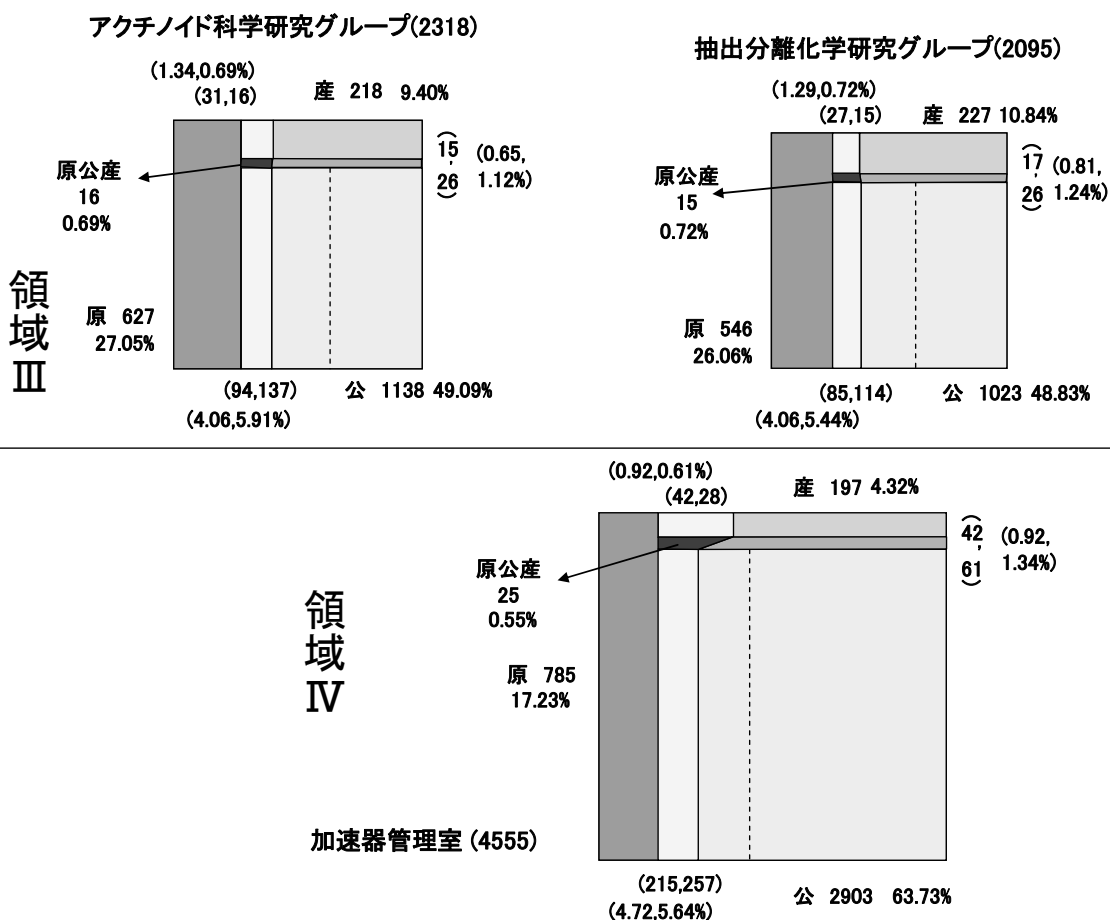


Fig.5 Socio-economic networking of research fields III (top two) and IV (bottom)

領域Ⅳ：

図の下側は、施設開発・運転管理、すなわち加速器管理室に関するネットワーク図である。総論文数は4,555で他のグループを引き離してトップであるが、原研単独の論文シェアは約17%と相対的に低い。原研・公とのネットワーク発達率は約10%と相対的に低く、民とのネットワークは他のグループと同様に低いレベル（2%）にある。キーワード数が他の領域に較べて半分なのに、総論文数が飛び抜けて大きいことから、研究の活性度は大きいと考えられる。つまり、原研が研究目的で独善的に施設を占拠するのではなく、外部特に公の部門に向かって門戸を開いていること、原研自身も施設を使った研究を実施していること、等で施設利用が活性化している事を物語っている。

3. 3 研究室の活性度

{5 キーワード} を使って {コア研究員 5 人} に関する INIS 検索を実施した。その結果を一覧したのが **Table 4** である。この表は理解の難しい表であるが、以下順々に重要な点を説明する。

(1) 論文著者群のどこかに原研著者が含まれるケース

筆頭著者にこだわらない、即ち原研職員が部分的に貢献したことを示唆する研究論文のケースを示している。図中上段カラム①がこれである。

(i) カラム①の説明

{5 キーワード} 構成要素、例えば Tandem を INIS に入力し、Present 状態 (期間 : 1998-2002) における論文ヒット数を前方検索した結果である。前方検索数値式は以下のようになる。(F=JAPAN ATOMIC ENERGY RESEARCH INST@+F=JAEARI@)*(H=98+ H=99+H=00+H=01+H=02)。ここに@は前方検索、*は and、+は or を意味する。得られた値、例えば Tandem では 155 論文となっているが、これは Tandem をキーワードに含む論文著者群の中に必ず一人原研研究員が含まれる論文の数である。勿論、著者は第 1 著者であろうが第 2 著者であろうが順番には拘っていない。

(ii) カラム②の説明

カラム①で用いた検索式に、Table 3 で示した {コア研究員 5 人} の名前一人一人を and で繋いだ検索式を付加した結果である。例えば①* (A=YOSHIDA T@+A=TAKEUCHI S@+ A=TSUKIHASHI H@+A=MATSUDA M@+A=HANASHIMA S@) の様である。この結果から得られる数値、例えば Tandem では 114 となる。Tandem をキーワードに含む原研論文のうち、論文著者群の中に必ず {コア研究員 5 人} のうちの誰か一人が入っている論文数を意味している。

(iii) カラム③の説明

カラム①で用いた検索式において、{コア研究員の特定の一人} に着目した検索を実施した結果である。検索式は例えば、①*A=YOSHIDA T@となる。5 人の研究員がいるので、この場合は固有名詞を取り替えて 5 回検索を繰り返す。この結果から得られる数値は、例えば Tandem について、番号 (以下 #) 1 とされた研究員では 1 0 6 論文、# 2 研究員では 1 1 0 のようになる。YOSHIDA 氏について見ると 1 1 4 論文中 1 0 6 論文にご自分の名前が入っていることになる。

Table 4 {5 keywords} obtained from individual research fields (IV, I, II, III) of materials science and corresponded numbers of issued papers searched by INIS database covering period from 1998 to 2002

			1998-2002年INIS検索"原研論文"										(2)付帯条件:"筆頭著者は原研"										付帯条件:"筆頭著者は原研コア研究員5人"					
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	①	②	③	④	⑤	
類	グループ名	キーワード	原研	G5名	#1	#2	#3	#4	#5	原研	G5名	#1	#2	#3	#4	#5	G5名	#1	#2	#3	#4	#5	G5名	#1	#2	#3	#4	#5
IV	加速器 管理室	TANDEM	155	114	106	110	0	5	2	109	77	74	75	0	4	2	13	4	5	0	2	2						
		ACCELERATOR	523	81	71	70	0	5	2	364	55	51	50	0	3	2	14	4	6	0	2	2						
		BOOSTER	26	9	7	8	0	1	0	20	8	7	7	0	1	0	7	3	4	0	0	0						
		HEAVY ION	310	122	104	104	0	19	1	180	80	72	72	0	10	1	9	3	3	0	2	1						
		HIGH ENERGY	375	36	20	18	0	16	0	261	16	12	12	0	4	0	0	0	0	0	0	0						
I	原子核科 学 研究 グループ	COULOMB EXCITATION	13	10	10	2	0	5	1	8	7	7	2	0	3	1	1	1	0	0	0	0						
		NUCLEAR DEFORMATION	59	4	3	0	1	0	0	37	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
		GAMMA COINCIDENCE METHOD	21	13	13	6	0	12	0	8	6	6	5	0	5	0	4	3	0	0	1	0						
		NUCLEAR ACTIVATION ANALYSIS	55	4	4	3	0	3	0	28	4	4	3	0	3	0	3	2	0	0	1	0						
		NUCLEAR DATA MEASUREMENT	122	5	2	5	0	5	0	19	3	1	3	0	3	0	3	0	2	0	1	0						
	原子分子 科学 研究 グループ	ISOTOPIC SEPARATION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
		SILICON	210	3	2	1	0	0	1	135	3	2	1	0	0	1	3	2	1	0	0	0						
		SELECTIVE HYDROGEN ELIMINATION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
		LASER ABRASION	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
		CONTROL CHEMICAL REACTION	15	1	1	0	0	0	0	14	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
II	極限物性 研究 グループ	HIGH TC SUPERCONDUCTORS	80	50	48	1	0	49	0	33	15	14	1	0	15	0	3	1	0	0	2	0						
		ECOMATERIALS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
		HIGH RESOLUTION ELEMENT MAPPING	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
		X RAY DIFFRACTION	104	7	5	1	2	3	1	52	4	2	1	1	2	0	1	0	1	0	0	0						
		MULTICHARGED IONS	22	1	1	0	0	1	0	16	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0						
	材料照射 解析研究 グループ	IRRADIATION EFFECT	202	15	8	4	0	2	5	128	9	5	2	0	2	2	5	3	0	0	1	1						
		REACTOR MATERIALS	904	17	2	6	1	0	11	679	9	1	4	1	0	4	4	1	0	1	0	2						
		REDUCED ACTIVATION STRUCTURAL MATERIALS	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
		CERAMIC FUNCTIONAL MATERIALS	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
		IRRADIATION ASSISTED STRESS CORROSION CRACKING	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
III	アクチノイド 科学 研究 グループ	ACTINIDES	689	43	16	13	14	6	9	493	33	12	10	10	6	6	11	4	2	2	2	1						
		AMERICIUM	96	4	2	0	3	1	0	76	4	2	0	3	1	0	2	2	0	0	0	0						
		TRANS MUTATION	137	5	4	0	0	0	2	83	5	3	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0						
		MAL TEN SALT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
		EXAFS	4	1	0	0	1	0	0	3	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0						
	抽出分離 化学 研究 グループ	ACTINIDES																										
		SOLVENT EXTRACTION	65	28	14	14	6	1	10	51	25	11	14	6	1	10	16	3	5	0	1	7						
		TODGA	2	2	2	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	2	0	2	0	0	0						
		PARTITIONING	31	17	2	16	11	0	5	29	17	2	16	11	0	5	9	0	6	0	0	3						
		ARTIST PROCESS	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0						

（２）論文筆頭著者が原研であるケース

前節で説明したカラム①からカラム③の各プロセスに対して、「筆頭著者が原研である論文を探すこと」という拘束条件を付帯して INIS で検索した結果を示す。すなわち、論文著者全員の所属先を検索し、筆頭著者が原研でない場合はその論文を排除し、筆頭著者所属が原研であるものだけを検索した結果を示している。例えば Tandem では、このキーワードを有する原研論文は 1 5 5 であったが、原研研究員が筆頭になっている論文は幾つあるのかと付帯条件をつけると、その数は当該カラム位置①のように 109 論文となる。同じく、Tandem で、原研論文と {コア研究員 5 人} の論文が and で繋がっている領域の論文数は前節カラム②から分かるように 1 1 4 であったが、その領域内で筆頭著者の所属が原研というように付帯条件をつけると、当該カラム②のようにその数は 7 7 になる。

（３）{コア研究員 5 人} が筆頭著者のケース

前節のケースに対し、筆頭著者は {コア研究員である} という限定付加条件を課した結果である。例えば Tandem で、研究論文であってそのどこかに {コア研究員 5 人} が含まれた論文数という場合は 1 1 4 であったが、その領域内で筆頭著者の所属が原研のものという付帯条件をつけると、論文数は 7 7 に減少し、さらに、筆頭著者の名前に {コア研究員 5 人} が入っているものという限定付加条件をつけると、当該カラム①に示すように、論文数は 1 3 となる。この 1 3 の内訳は Tandem でみると、# 1 研究員のものが 4 論文、# 2 が 5 論文、# 3 が 0、# 4 が 2 論文、そして # 5 が 2 論文となる。

（４）研究室の活性度

各領域において、{5 キーワード} を含む論文数と {コア研究員 5 人} の論文数を同時プロットしたのが Fig. 6 である。

まず 5 キーワードで決まる原研総論文数（原研の研究員が一人でも著者として含まれている論文は原研論文と定義した）に着目した後で、領域毎の大小を決めると中抜きの白棒グラフが示す様に、 $IV > II > III > I$ となる。

総論文数において、筆頭著者が原研研究員であるものは原研のオリジナリティーを保有していると考えられるが、色付きの棒グラフ（白抜きの右側）がまさにそれであって、なおかつ総論文に対する数値割合を棒グラフ頂上付近に掲示した。原研論文のオリジナリティー度合いが領域 $III(72\%) > II(69\%) > IV(67\%) > I(50\%)$ という順番であることは、前述した。

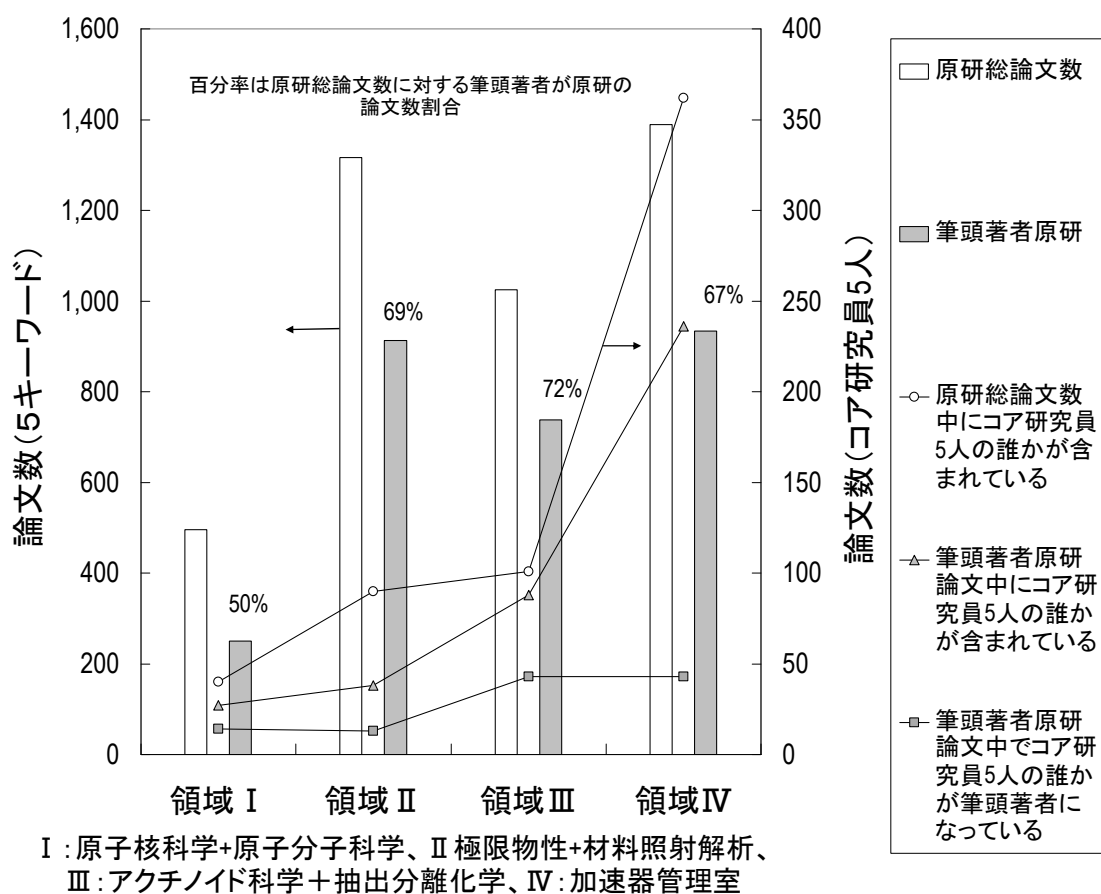


Fig.6 (Left) Papers searched by INIS with {5 keywords} represented the originality of JAERI research activities and (Right) Papers written by {5 core researchers} represented the activeness of individual laboratories. The two factors are shown as a function of research fields I, II, III and IV

{コア研究員 5 人} に関するデータも図中にプロットした。即ち各領域における原研総論文数中に {コア研究員 5 人} の誰かが含まれているケース (図中○印、ケース 1)、原研オリジナル論文中に {コア研究員 5 人} の誰かが含まれているケース (図中△印、ケース 2) 及び原研オリジナル論文において {コア研究員 5 人} の誰かが筆頭著者であるケース (図中□印、ケース 3) それぞれにつき、結果を Fig.6 中にプロットした。以下では、各ケースにおいて領域の論文数を総論文数で割った比率 (%) を用いて比較する。

ケース 1 (○印データ)

このケースは、一般的な原研論文に占める {コア研究員 5 人} の活性度と見なされるが、領域比較では IV(26%)>III(10%)> I (8%)> II (7%)となる。平均では 14%である。領域 IV が他に較べて大きいのは、恐らく Tandem 加速器が国内施設としては独占的な地位を占めており、それを効率良く使った {コア研究員 5 人}

の研究論文が多いためと理解される。

ケース 2 (△印データ)

このケースは、原研オリジナル論文数中に占める {コア研究員 5 人} の活性度と見なされるが、領域比較ではⅣ(25%)>Ⅲ(12%)>Ⅰ(11%)>Ⅱ(4%)となる。ケース 1 の場合と傾向は同じである。原研オリジナル論文中にコア研究員が入っている割合は平均 14%である。

ケース 3 (□印データ)

このケースは、原研オリジナル論文において、{コア研究員 5 人} がリーダーシップを発揮し、先頭になって研究をリードした尺度となるものである。数値自体は当然少なくなるが、領域比較では、Ⅲ(4%)>Ⅳ, Ⅰ(3%)>Ⅱ(1%)となる。平均では 3%である。ここでは、前のケースで 25%と最大であった領域Ⅳが 3%と他と同じレベルに大きく低下する事が特徴的である。領域Ⅳでは、施設を利用したオリジナリティーのある研究（原研研究とは限らない）の中で、領域Ⅳに所属した研究員が自ら論文筆頭著者となるような研究が 3%ある。

ケース 1 と 2 ではⅣ>Ⅲ>Ⅰ>Ⅱ、ケース 3 ではⅢ>Ⅳ, Ⅰ>Ⅱとなることから、研究室の活性度という観点からは、領域Ⅳ（Ⅲ）に優位性が有る。

3. 4 ピアレビュー結果との傾向比較

物質科学研究部では、外部専門家によるピアレビューを受け事後評価に関する評点も公開されているので、本調査の結果を踏まえながら幾つかの点について考察する。当該ピアレビューは、平成 10 年度（1998）から平成 14 年度（2002）までの 5 年間を対象に、本調査と同じ考え方で枠組した領域Ⅰ～Ⅳに関し、

- i) 目的達成度、
- ii) 経過の妥当性、
- iii) 人材育成、
- iv) 成果の普及と波及効果、
- v) 将来展望

という項目の観点から専門家が資料、インタビュー等により判断を下している。公開された文献^①に基づくレビューアーの評点は **Fig. 7 (上)** のようになっている。

当時のレビューアーらがどのような判定基準に基づいて相対評価を行ったかは公開報告書からは分からない。筆者らが考えるに i) 目的達成度は、事前に作成された研究目標に対してどの程度それが達成できたかを追跡評価することで決められる。ピアレビューではどのような尺度で追跡したか分からない。ii) 経過の妥当性は、レビューアー達が幾つかの代表的研究テーマについてヒアリング等でその妥当性を判断したものと考えられるが、中間評価等について言及しなか

った本報では対応出来ない。iii) 人材育成は、原研内外の研究員のうち、何人位が学位を得たか、外国人留学生を何人位受け入れたかというような数値で決められる。これは、評価者に余り依存せず画一的で定量的な結果になる。iv) 成果の普及と波及効果は、まさに本報が実施した社会経済的評価及び後述する論文の引用度、経済規模評価が当てはまる項目である。v) 将来展望は、所謂事前評価的な要素があり、本報のような追跡評価においては検討しない。

ここでは、本報の評価結果と多分関係があるであろうと思われる i) 目的達成度及び iv) 成果の普及と波及効果について、ピアレビューで与えられた相対的得点が、本報の評価結果と一致するかどうかを見てみたい。前者も後者も図から分かるように、各領域について評点 3 から評点 5 の間に評価が分かれ、領域を対象とした評価結果を見れば、Ⅲ>Ⅰ>Ⅳ>Ⅱがピアレビューによる判定結果である。

各項目に対する本報の判定は以下になる。

1) 論文数：

Fig.4 で説明したように原研総論文数比較ではⅣ>Ⅱ>Ⅲ>Ⅰとなり、原研オリジナリティーのある論文数比較では領域Ⅲ(72%)>Ⅱ(69%)>Ⅳ(67%)>Ⅰ(50%)となる。本報の評価結果は領域Ⅱを劣位としないが、ピアレビューの判定では領域Ⅱは劣位であった。

2) ネットワーキング：

元来ピアレビューではこの概念は無いので比較できない。それでも参考に較べると原研-公のネットワーキング発達率で評価した結果は領域Ⅰ(28%)>Ⅱ、Ⅲ(18%)>Ⅳ(10%)であった。ネットワーキングの観点に立った評価では第Ⅱ領域は優位側にあると筆者は考える。

3) 研究室の活性度：

筆者は、ケース 1：総論文数の中に {コア研究員 5 人} の誰かが含まれている場合、ケース 2：筆頭著者原研論文中に {コア研究員 5 人} の誰かが含まれている場合、ケース 3：筆頭著者原研論文中に {コア研究員 5 人} の誰かが筆頭著者になっている場合についてそれぞれ考察したが、結果的にみると、ケース 3 がピアレビューの評価結果とほぼ同じ傾向、即ちⅢ>Ⅰ、Ⅳ>Ⅱとなる事が分かる。この傾向一致は、iv) 成果の普及と波及効果に関するものではなくて、i) 目的達成度という概念に近いと思われる。すなわち、コア研究員が研究目標に向かって研究室を引っ張って行った結果、ある種の目的に到達できたと考ええるやり方である。

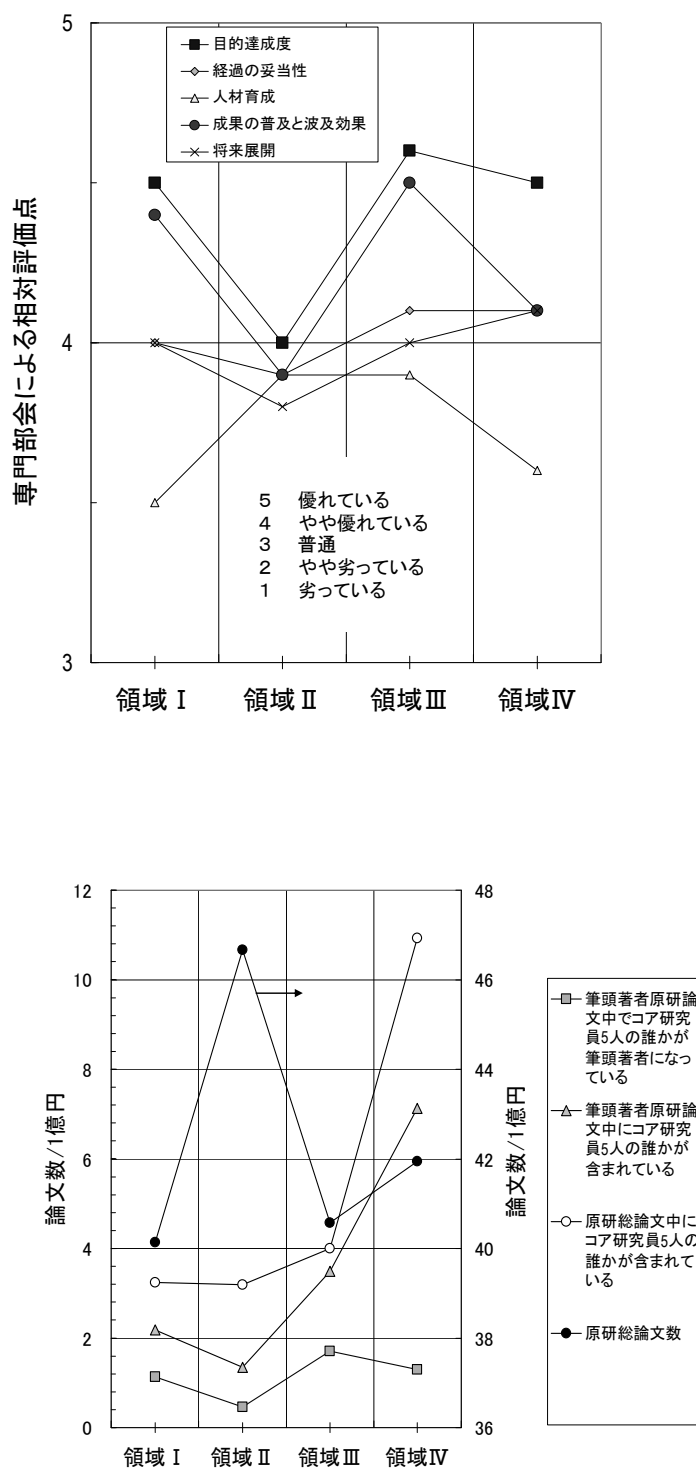


Fig.7 (Top) Evaluation rate determined by the members of MS branch belonged to the research evaluation committee of JAERI, (Bottom) Ratio of papers to invested governmental budgets as a function of research fields I, II, III and IV

4) 一般的でない手法：

各領域に所属する論文の数を、各領域に投入された財（一般会計予算と特別会計予算の合計値）で除した値で比較する手法も稀には使われるが一般的ではない⁽⁴⁾。筆者がそう思う理由は、明らかに価値が異なる2因子（論文数、投入財）をお互いに乗除するからである。試しにそれが許されたとした仮定した場合の算定結果を Fig. 7（下）に示す。このプロットでは、1億円当たりの論文数で比較しているが、原研総論文数（図中●データ）では投資した財当たりの論文数は領域Ⅱで優位となる。総論文中に「コア研究員 5 人」が含まれていることとした付帯条件・すなわち対象となっている研究室にて生産された論文に着目して評価するという立場を取ると、領域Ⅱは大幅にダウンし逆に領域Ⅳが急昇する（図中○）。領域Ⅱは総論文数では群を抜いていたが、これは選択キーワードのうちの“Reactor Materials”がかなり汎用性のあるキーワードだったため全体を底上げしていたと考えられる。その条件に対してさらに当該研究室にて生産された論文であることという限定条件をつけた途端に、論文数が激減したと考えられる。原研研究員が筆頭著者になっている論文で、「コア研究員 5 人が含まれる」という付帯条件（図中△データ）をつけると、各領域で全体的に論文数が減少する。最後に、原研研究員が筆頭となっている論文であってかつコア研究員が筆頭の論文という最も厳しい付帯条件（図中□データ）を課すと、領域Ⅳが大幅に落ち込む。領域Ⅳは、コア研究員が含まれる論文（会議録やレビューといった論分）の数は多いものの、課室の研究員が筆頭となっている論文即ち原研オリジナリティー論文の有無で評価すると、その数が低下するという特徴がある。この最後の最も厳しい条件下での領域評価が、偶然と思われるが、ピアレビューの審査結果と良く傾向一致する。但しこの一億円当たりの論文数というアプローチは、評価の専門家の中で広く認知されているとは言い難く、これを使った評価は筆者らとしては推奨し難い。

本報が用いた「コア研究員 5 人」による研究室活性度の評価は、ピアレビューで言う目的達成度に関する相対評価（領域Ⅲ>Ⅰ>Ⅳ>Ⅱ）に傾向一致できた。本報が用いたネットワーク評価の結果（Ⅰ>Ⅱ,Ⅲ>Ⅳ）は、ピアレビューで言う成果の普及と波及効果に関する評価に最適と思われるが、ピアレビューでは使われていない。1億円当たりの論文数という評価がピアレビューで言う成果の普及と波及効果（相対評価の結果は領域Ⅲ>Ⅰ>Ⅳ>Ⅱ）と良く一致する。

3. 5 論文の引用度

各領域の {コア研究員 5 人} に対して、原研オリジナル論文を書きその筆頭著者になっている数が最も多い研究員を二人ずつ抽出し、彼らが作成した論文に対する引用度を STN (Science and Technical Information Network)-International^(注8) を使って調べた(2004 年 4 月時点)。結果の出力を付録 1 として示すが、残念ながら引用回数はどの人も皆無であった。基礎科学研究は、自ら応用研究や工学的研究に進捗するケースの他に、類似分野・他分野からの引用があると社会経済的な外部ネットワークが形成されたという証拠になる訳であるが、今回の調査ではそれが見出されなかった。

3. 6 物質科学研究分野に係わる経済効果

平成 14 年度報告書⁽³⁾では、全体的な記述量の整合性から物質科学研究分野に関する経済効果の詳細記述は省略された。当該調査では、物質科学研究分野を、(1) 物理的物性研究、(2) 化学的物性研究及び (3) 加速器の運転管理と区分した。本報で既に区分した研究領域との対応は、(1) に対応するのが原子核物理 {I}、極限物性 {II}、材料照射解析 {II} であり、(2) に対応するのが原子分子科学 {I}、アクチノイド科学 {III}、抽出分離科学 {III} であり、(3) に対応するのが施設開発・運転管理 {IV} である。領域 I が物理的物性と化学的物性に分断された以外は区分の仕方は同じである事が分かる。ここでは、平成 13 年のデータであるが、総括的報告書で記載しなかった物質科学研究に係わる経済効果の概要を以下に記述することとし、経済性試算の考え方及び試算結果の詳細は付録 2 にまとめる。前回調査では、評価期間として 1) 過去から 2000 年まで及び 2) 2001 年から 2010 年までの 10 年間という区切りを行った。これは、過去分及び近未来分という区別であるが、本報では話を単純化するために過去分のみ記載する。近未来分は、説明に使った図を見ると分かるようになっている。

(注 8) これは日本の科学技術振興機構(JST)、ドイツ Fachinformationszentrum Karlsruhe (FIZ Karlsruhe)、米国化学会 (CAS、Chemical Abstract Service) による有償データベース。物理情報は INSPEC、特許情報は WPI や DPCI、自然科学全般は SCISEARCH 等で検索する。

(1) 軽水炉発電定着への寄与

原研全体の経済効果を評価すると、物質科学研究の一部成果は「軽水炉発電」に向けられたと考えられる。これは、物質科学の前身である燃料工学部や材料工学部等において、軽水炉の燃料や炉材料の健全性研究がなされていたためである。物質科学研究が「軽水炉関連」市場にもたらした経済効果を試算した結果に基づけば、軽水炉関連に対する投資総額（国税）は、人件費込みで 234 億円である。物質科学研究により「軽水炉原子力発電市場」および「原子力発電施設・機器市場」の一部が創出されたと仮定し、その関連市場の売上高、研究開発の貢献割合及び原研の寄与率に関する調査を実施し、これら 3 因子を乗じると市場創出額が得られる（詳細はここでは省略）。結果だけを示すと市場創出額は、Fig. 8 に示す様に、過去から 2000 年までの直接効果 718 億円（内 362 億円は付加価値創出効果）と算定された^(注9)。

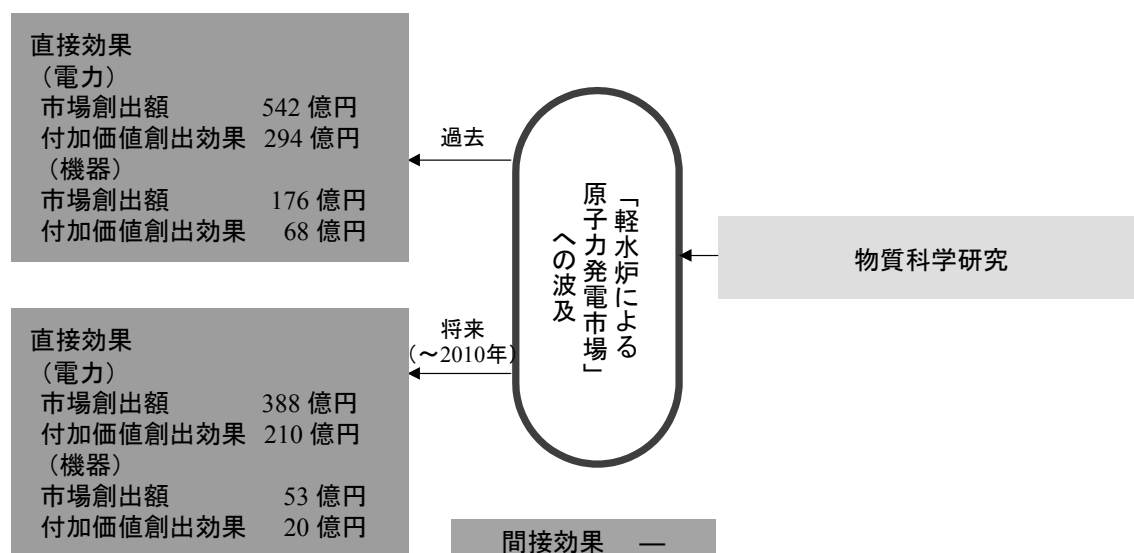


Fig.8 Economic effect of material science (MS) relating to the market creation at the commercialized light water power reactors, where the direct effect on the electric sales of nuclear power and that on instruments and components of reactor are taken into consideration.

（注9）：市場創出額のうち直接効果は 718 億円、内訳は電力：542 億円、機器：176 億円である。間接効果は該当が無かった。付加価値創出効果のうち直接効果は（直接効果による需要増加累計）×（粗付加価値率）＝718 億円 ×（粗付加価値率）＝ 362 億円と算出した。間接効果は無かった。

(2) 軽水炉発電定着以外への寄与

物質科学の研究成果は各種の幅広い産業分野に適用されているはずで、これを調査して定量化を試みた。その結果、“物理的物性研究”では「極限物性研究」「超高分解能電子顕微鏡」⁽⁵⁾、「溶融塩物性の研究」において市場創出があった。一方、“化学的物性研究”では「乾式再処理プロセス」で市場創出があった。詳細は付録Ⅱに記載してあるが、その市場創出額を纏めて図式化した結果を **Fig. 9** に示す。市場創出効果の合計は、過去分として直接・間接効果 51 億円（内 21 億円は付加価値創出効果）であった。

単純に推測すれば、領域Ⅱ（とⅠの半分）での直接効果は 16 億円、間接効果 35 億円となる。一方、領域Ⅲ（とⅠの半分）での直接効果は該当が無く間接効果が 0 億円である。領域ⅠとⅣの効果は明確でないが、少なくとも経済的效果に付いては領域Ⅱ>>領域Ⅲであった。

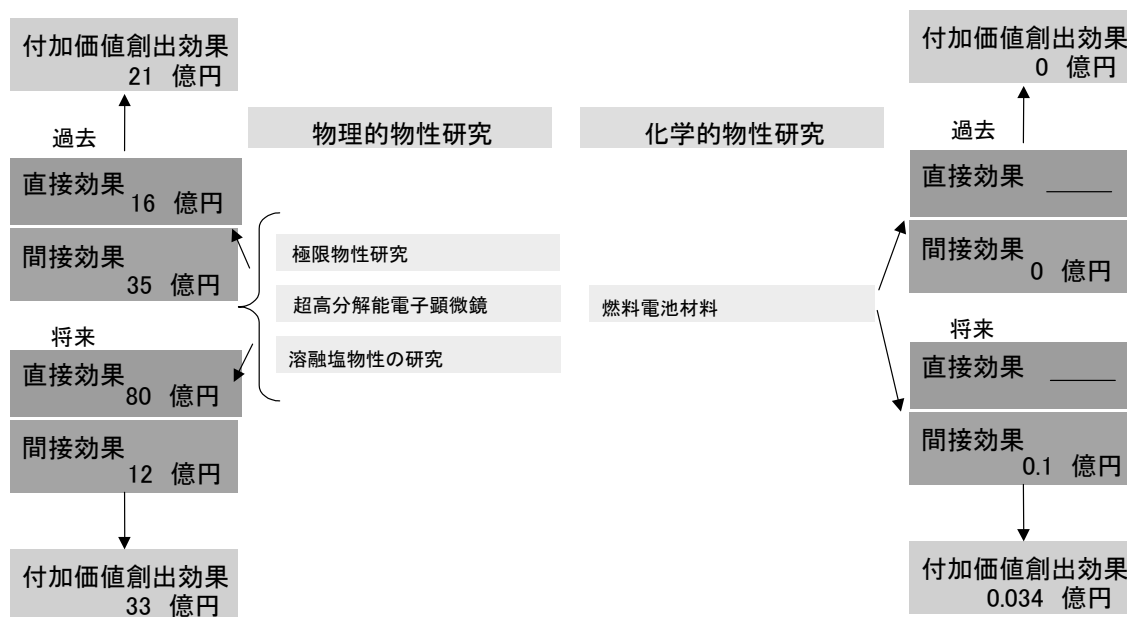


Fig.9 Economic effect of material science (MS) relating to the market creation at the non-nuclear fields, where physical and chemical studies of material properties are separately taken into consideration

物質科学に関する経済規模は **Fig. 10** の様に纏められる。つまり、物質科学研究分野に投入された累積金額は 465 億円、人数は 7,629 人・年であり、定量可能な経済効果の合計は、経済効果が 769 億円（内 383 億円は付加価値創出効果）となる。このデータに基づいて産業連関分析を行ってみたところ、全産業に対

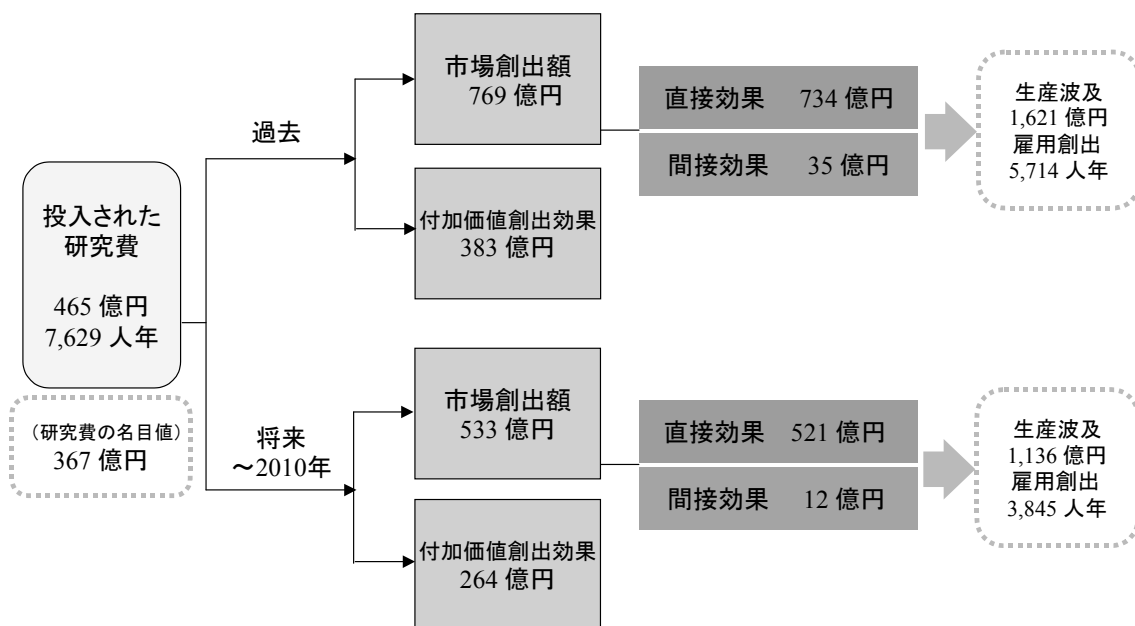


Fig.10 Economic effect of material science (MS) considered at the nuclear and non-nuclear fields.

する生産波及は過去分で 1,621 億円、雇用創出は 5,714 人年という算定結果が得られた^(注10)。これは、市場が創出された事と生産誘発によって波及効果が生じ、それによって 6 千人近くの雇用が創出されたことを意味する。

(注 10)：他産業に与える波及効果として生産誘発効果と雇用創出効果がある。

① 生産誘発効果

物質科学研究分野（軽水炉関連）における直接効果、間接効果が他産業に与える波及効果を産業連関分析によって試算すると、 $((\text{直接効果による需要増加累計}) + (\text{間接効果による需要増加累計})) \times (\text{レオンチェフ逆行列表}) = 718 \text{ 億円} \times (\text{レオンチェフ逆行列表}) = 1,621 \text{ 億円}$

② 雇用創出効果

物質科学研究分野における直接効果、間接効果によって、新たな雇用の創出を産業連関分析によって試算すると、 $(\text{他産業への波及効果}) \times (\text{雇用者所得比率}) / (\text{雇用者所得}) = 5,714 \text{ 人} \cdot \text{年}$

4. 結論

原研物質科学研究部に所属する研究室の成果を代表する {5 キーワード}、各研究室に所属する研究員のうち最も論文を作成した人のうちから上位 5 人を抽出した {コア研究員 5 人} の組み合わせにより、4 つに領域化した 7 研究グループの追跡価を実施した。

(1) 研究の優位性

我が国物質科学研究の世界に対する優位性では、世界 91 ヶ国が輩出した約 10 万論文に対する我が国シェアは 14%であり、優位性がある。我が国物質科学研究における原研の優位性では、我が国 1 万 4 千論文に対して原研論文が占める割合は 23%、学が 44%、官が 15%、民が 11%であることから推察して原研物質科学研究は我が国において注力研究分野を形成し、優位性を持って研究を推進して来たと言える。物質科学 4 研究領域毎にみた原研論文の優位性では、国内の総論文数に対する原研論文の比率（原研論文/日本論文）は、領域Ⅲ(31%)>Ⅱ(21%), IV(21%)>Ⅰ(17%)となり、領域Ⅲの優位性が顕著である。原研総論文数のうち原研研究員が筆頭著者になっている論文、即ちオリジナリティーのある論文の割合は、領域Ⅲ(72%)>Ⅱ(69%)>IV(67%)>Ⅰ(50%)となる。原研論文の独創性の観点からは領域Ⅲが優位にあった。

(2) 成果の普及具合

共著論文で評価した成果の普及具合は、原研一公（4 領域平均で 18%）>原研一民（3%以下）であった。基礎科学研究が成熟し民間との技術移転が進めば後者が大きくなると思われるが、現状では原研は公（大学や公的研究機関）とのネットワーキングが発達した。原一公の範疇では、領域Ⅰ(28%)>Ⅱ,Ⅲ(18%)>IV(10%)となり、領域Ⅰが優位だった。

(3) 研究室の活性度

コア研究員を中心にして研究室が目的に向かって業務に専念した度合いであるが、3 つのケーススタディを行った。例えば原研オリジナル論文中にコア研究員 5 人が含まれるという想定下での研究室活性度は、領域Ⅳ(25%)>Ⅲ(12%)>Ⅰ(11%)>Ⅱ(4%)となった。ケースによっては優位性がⅢとなる場合がある。研究室の活性度は領域Ⅳまたは領域Ⅲで顕著である。

(4) ピアレビュー結果との傾向比較

ピアレビューで言う「目的達成度（相対評点）」と本報で言う「研究室の活性度（絶対評点）」およびピアレビューで言う「成果の普及と波及効果（相対評点）」と本報で言う「投入財 1 億円当たりのコア研究員が筆頭となっている論文数（絶対評価）」は良好な傾向一致を見た。研究ネットワーキングを使ったピアレビュー結果は無く比較できなかった。

(5) 物質科学の論文波及効果

{コア研究員 5 人} に関する論文引用度を STN で検索したが引用がなく、論文波及効果は明らかでなかった。

(6) 物質科学の経済効果と波及効果

物質科学研究分野に投入された累積金額は 465 億円、人数は 7,629 人年であり、定量可能な経済効果の合計は、市場創出効果が 769 億円（内 383 億円は付加価値創出効果）となる。全産業に対する生産波及は過去分で 1,621 億円、雇用創出は 5,714 人年となる。領域比較では、Ⅰ、Ⅳについては判断できないが明らかに過去分(2000 年以前)については領域Ⅱ>Ⅲである。

謝辞

本研究は、高橋祥次元原研理事（現、全国健康保険協会監事）及び平澤冷東京大学名誉教授（当時(財)政策科学研究所理事）のご指導の元で実施したものであり、結果の検討に際しては貴重なご助言・ご指導を賜りました。SOCIOECO のプログラミング及び実施については(株)KCS 小田久子及び室伏昭上級技師のご支援を賜りました。INIS データベースの取り扱いについては、研究技術情報部の米澤稔課長にご協力を賜りました。物質科学に関する専門的キーワードの収集、英語化等については岩本昭特別研究員（元原研東海副所長）がご尽力下さいました。原研物質科学研究部の経済効果に関するデータ評価は、(財)日本総合研究所の作田昌治理事、南雲俊一郎研究員及び南条有紀研究員等のご尽力を賜りました。報告書作成にあたっては日本原子力研究開発機構 OA システム室の中島優子氏に丁寧なご指導を賜りました。ここに厚くお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 日本原子力研究所研究評価委員会：“物質科学研究専門部会評価結果報告書（平成 15 年度事後評価）”、JAERI-Review 2004-012 (2004.6).
- (2) 研究業務評価検討アドホック委員会：“日本原子力研究所事業の達成と研究成果の社会経済的効果に関する評価報告書（Ⅱ）—日本原子力研究所における基礎・基盤研究の社会経済的評価”—JAERI-Review 2003-036(2003).
- (3) 研究業務評価検討アドホック委員会：“日本原子力研究所事業の達成と研究成果の社会経済的効果に関する評価報告書”、JAERI-Review 2002-019 (2002).
- (4) (株)三菱総合研究所：“研究開発プロジェクトの技術・産業・社会へのインパクトに関する調査”、第Ⅱ編（平成 11 年 2 月）.
- (5) 日本原子力研究所：“電子顕微鏡による固体物理の研究 1959 年-2002 年”、(2003) .

付録 1 : STN を使った論文引用度の検索

2004 年 4 月 27 日現在で、{コア研究員 5 人} の作成した論文が、国内外でどの程度引用されているかを検索した。

(1) 使用したデータベース

STN-International, STN は Science and Technical Information の略字

(2) 対象期間

1974-2002.3

(3) 対象者

{コア研究員 5 人}

7 室の中で最も論文を作成した {コア研究員 5 人} 中第 1 位の人

YOSHIDA T, OSHIMA M, YOKOYAMA A, HOJOU K, IWASE A, MINATO K,
TACHIMORI S

(3) 結果

引用実績はゼロであった

付録 2：経済性試算の考え方と試算結果

1. 物理的物性研究

1. 1 経済性試算の考え方

(1) 経済性試算の対象

① 技術波及と実用化状況

物理的物性研究は、核データや照射損傷の物性データなど原子力分野での基礎的なデータを取得するとともに、これらの核物理研究、固体物理研究の成果を元に原子力分野で利用される材料の開発を行っている。最近はこれらの知識、手法を利用した原子力分野以外の材料開発にも力を入れている。研究成果の波及は、**Fig. A1**の技術マップに示す如く以下のように考えられる。成果技術の応用分野は、原研内他組織としては、エネルギーシステム研究、核融合研究、放射線利用研究であるが、産業的貢献分野として、材料・ナノテクノロジー分野等が挙げられる。

② アウトプット及びインパクト

物理的物性研究の主な目的は、核データの取得と原子核の理解、極限物性の解明と新素材開発、耐照射性材料の研究・開発である。**Fig. A2**の論理線図示すような実現化活動を経て、それぞれのアウトプット及びインパクトが展開している。

③ 対象範囲

A. 原子核科学研究

原子核科学研究に関する原研及び民間の研究活動範囲と成果の波及効果を模式的に **Fig. A3**に示す。原子炉設計や遮蔽計算に必要な中性子断面積などの核データの整備と、中性子および重イオンによる核反応データの取得を行っている。また、核物理分野での研究を進展するために原子核の理解のための研究を行っている。

B. 極限物性研究

極限物性研究に関する原研及び民間の研究活動範囲と成果の波及効果を模式的に **Fig. A4**に示す。極限物性研究では、極限物性の解明と新素材開発の研究を行っている。今回は、「極限物性研究」（小テーマ）全体としてナノテクノロジー技術に対する貢献、および「超高分解能電子顕微鏡」の集束イオンビーム発生装置市場への経済波及を試算対象とする。

C. 材料照射解析研究

材料照射解析研究に関する原研及び民間の研究活動範囲と成果の波及効果を模式的に **Fig. A5**に示す。材料照射解析研究では、中性子を含む放射線照射による照射損傷によって導入される照射欠陥の特性を明らかにすることにより、核融合炉を含む原子炉等での材料の耐照射性を向上させるための研究を行っている。

る。今回は、「溶融塩物性の研究」による溶融塩取扱い技術の習得による「ポンプ・バルブ市場」への間接的な貢献を経済波及の試算対象とする。

D. 中性子回折研究

中性子散乱を利用した材料基礎研究（構造解析）を行っている。現在は基礎研究センターで研究を行っている。ここでは旧物理部等での累積人員のみを加算し、累積予算、成果についての記述はしないものとする。

物理的物性研究の技術波及（技術マップ）

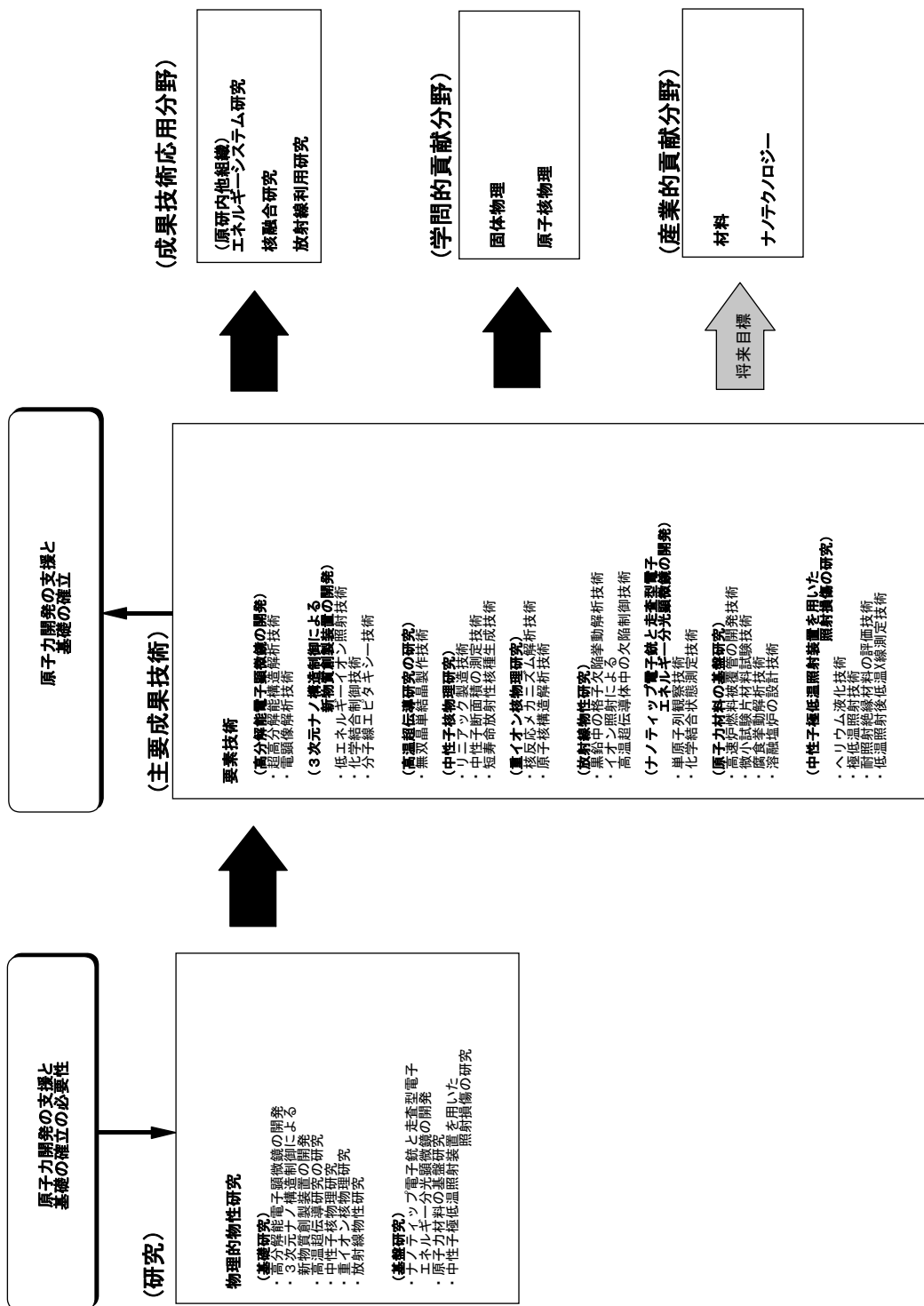


Fig. A1 物理的物性研究の技術波及（技術マップ）

中テーム「物理的物性研究」論理線図

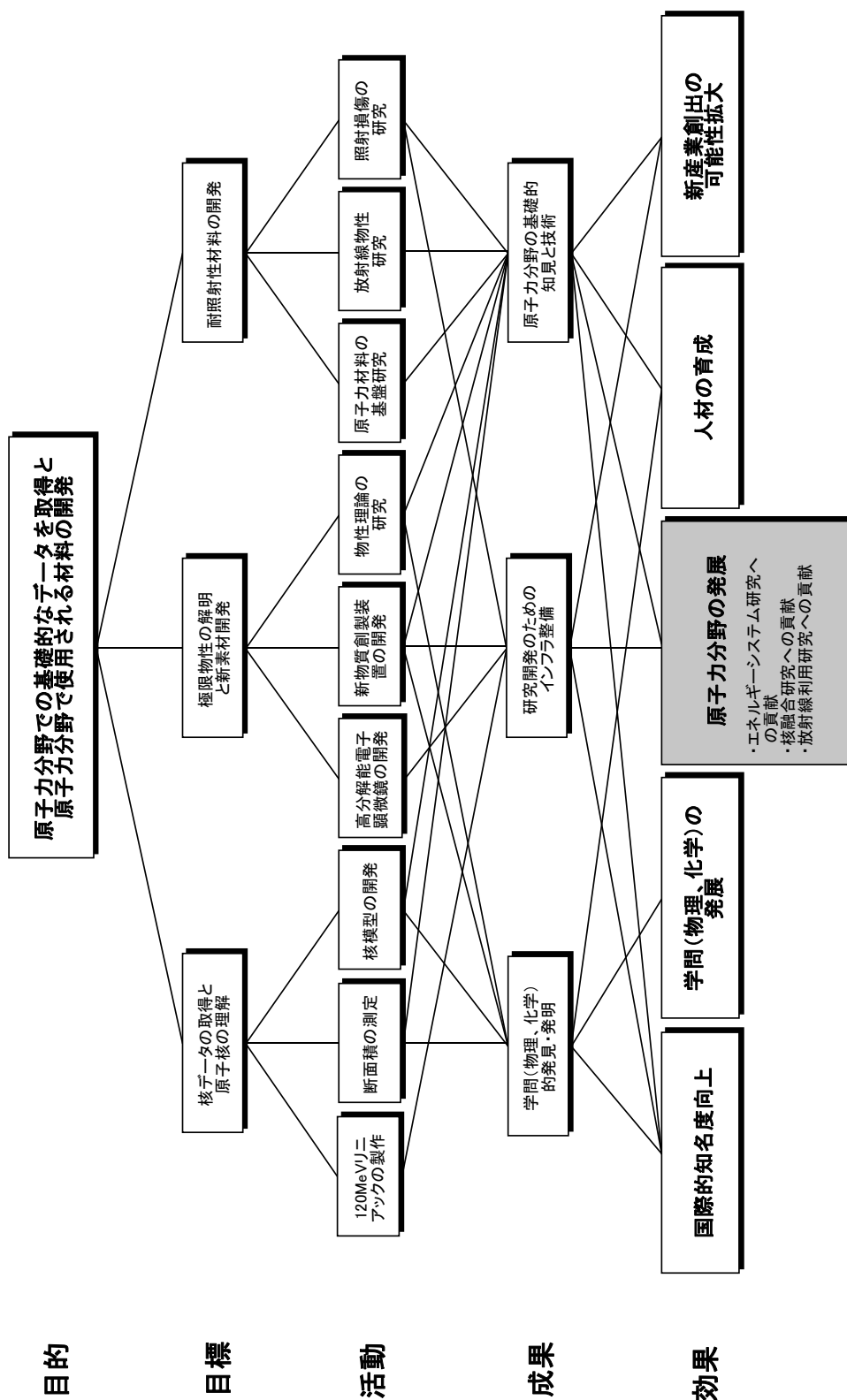


Fig. A2 物理的物性研究の論理線図

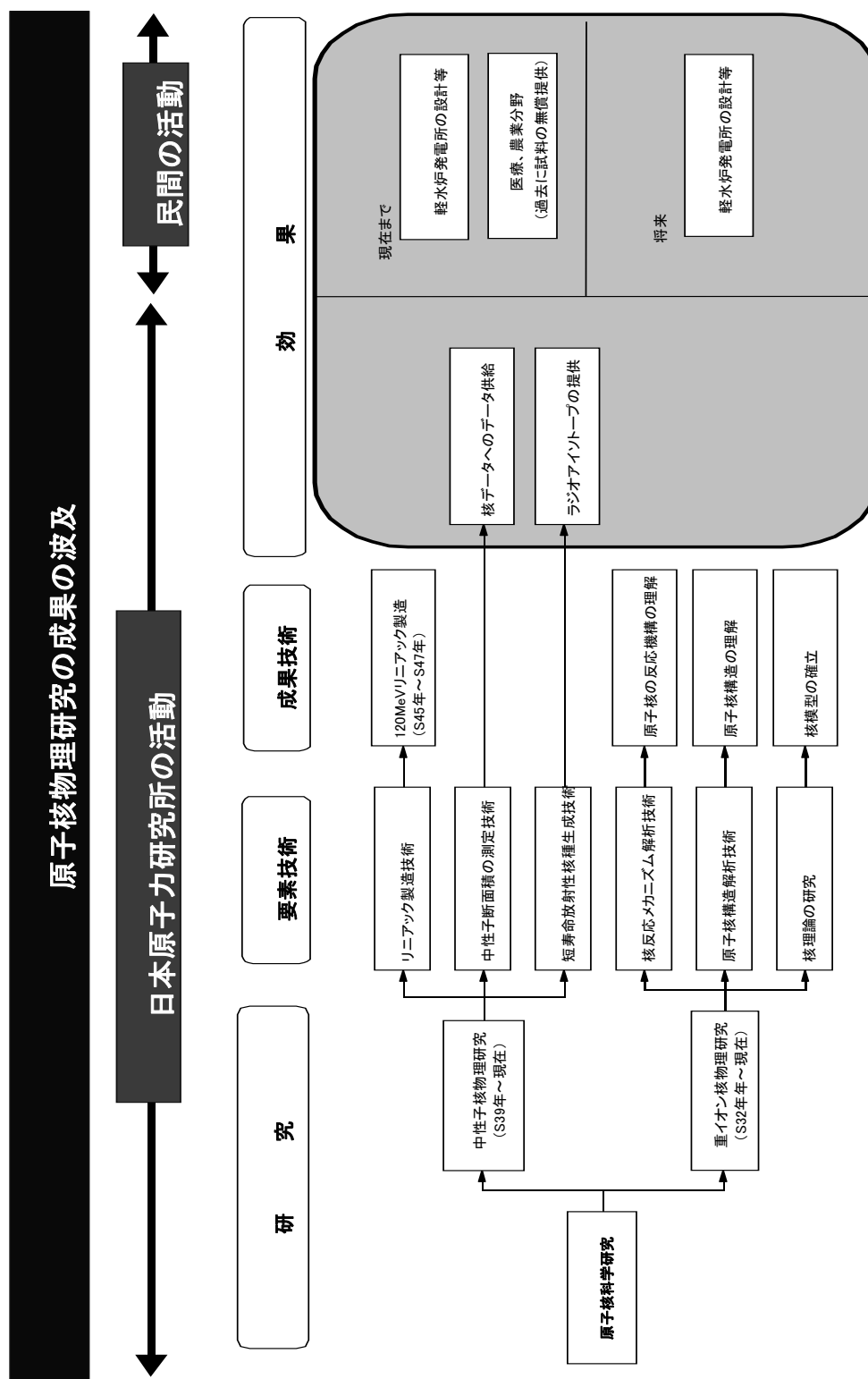


Fig. A3 原子核科学研究に関する研究活動範囲と成果の波及効果

Fig.A4 極限物性研究に関する研究活動範囲と成果の波及効果

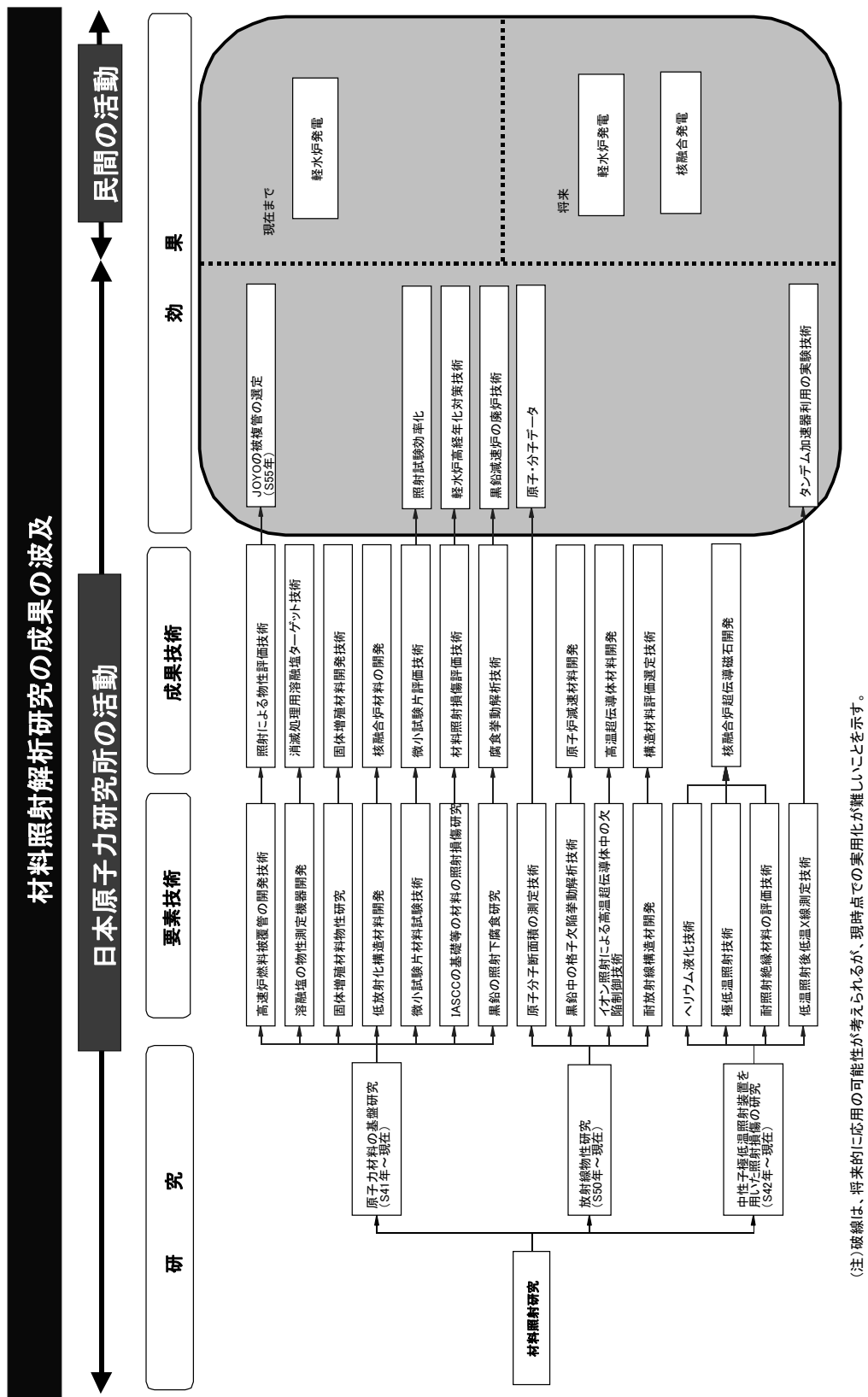


Fig.A5 材料照射解析研究に関する研究活動範囲と成果の波及効果

(2) 経済性試算の方法

① 市場、寄与度の考え方

市場、及び効果の考え方は以下のとおりとする。

研究成果	計測対象とする 波及分野	市場への効果の考え方
極限物性研究 (小テーマ)	超 L S I 関連市場	「極限物性研究」は、構造解析、各種分析装置の開発など、サブミクロンからナノメートルに至るナノ領域の物性研究の推進に貢献した。その代表例として超 L S I 関連市場への寄与を試算する。
超高分解能電子顕微鏡	超高分解能電子顕微鏡	原子像シミュレーションプログラムを基に世界で初めてシリコン単結晶の110面（原子間隔0.136nm）の構造像撮影に成功。またイオン照射による変化のその場測定を可能とし、固体内拡散研究の新しい道を開いた。超微細構造の観察手法の確立、ならびに材料の反応・成長機構の解明への貢献は非常に大きい。
熔融塩物性の研究	プラントにおけるポンプ・バルブ類	ナトリウムを含む熔融塩の取扱技術の習得。当時ナトリウムを取り扱っていたのは原研のみであった。プラントにおけるポンプ・バルブ類の市場規模から原研の貢献額を試算する。

② 具体的な計算手法

経済性試算の具体的な手法は以下の通りとする。

統計資料等に基づき対象とする市場規模を推計した後、研究開発活動の貢献度を示す研究開発比率、および原研の貢献度を乗じることによって、原研の市場創出額を求めた。研究開発比率は軽水炉関連と同程度と仮定し6%（参照；総論）、原研の貢献度は担当者へのインタビュー内容等を基に、各テーマによって1～10%と設定した。

研究成果	計測対象とする波及分野	市場の算出方法
極限物性研究 (小テーマ)	超 L S I 関連市場	「極限物性研究」では、構造解析、各種分析装置の開発など、サブミクロンからナノメートルに至るナノ領域の物性研究の推進に貢献している。今後大きな成長が期待されるナノテクノロジー分野の代表例として、システムオンチップ（SOC）市場規模を基にしてその市場創出額を試算した。（直接効果） 出所：産業タイムズ社「半導体工場ハンドブック2001」
超高分解能電子顕微鏡	超高分解能電子顕微鏡	超微細構造の観察手法の確立、ならびに材料の反応・成長機構の解明への貢献は非常に大きい。これらの貨幣換算は困難であり、具体的な市場創出額としては試料加工用の集束イオンビーム発生装置（FIB）の市場創出に影響を与えたと考え、同装置販売実績よりその市場創出額を試算した。顕微鏡にイオン注入装置を取り付ける手法は原研が独自に開発したものであり、大きく評価される。（直接効果） 出所：(株)アールアンドディ「科学機器年鑑」2000年版 市場分析編
溶融塩物性の研究	ポンプ・バルブ類市場	ナトリウムを含む溶融塩の取扱技術の習得。当時ナトリウムを取り扱っていたのは原研のみ。ポンプ・バルブ類の市場規模から原研の貢献額を試算。（間接効果） 出所：(社)日本産業機械工業会「最近の産業機械の機種別受注状況」、(社)日本バルブ工業会「バルブ工業概況調査報告書」等

1. 2 経済性試算結果

(1) 市場創出額（直接効果）

① 極限物性研究（小テーマ）

試算結果	備考
「極限物性研究」では、構造解析、各種分析装置の開発など、サブミクロンからナノメートルに至るナノ領域の物性研究の推進に貢献している。今後大きな成長が期待されるナノテクノロジー分野の市場の一例として、システムオンチップ（SOC）市場規模を基にしてその市場創出額を試算した。 <過去の効果額の累計> ・資料の数値よりSOC市場規模（世界）を三角形近似、2000年までの累積市場総額を算出； 約24兆円 ・うち日本市場の占める割合を30%と仮定；約7.2兆円 過去の効果額 $= (\text{市場規模}) \times (\text{ナノテクノロジー技術の付加価値の割合}) \times (\text{研究開発比率}) \times (\text{原研の寄与度})$ $= 7.2 \text{ 兆円} \times 30\% \times 6\% \times 1\%$ = <u>13 億円</u> <将来（2010年まで）の効果額の累計> ・上記の三角形近似を基に2001～2010年の累積市場規模（世界）を算出； 約144兆円 ・うち日本市場の占める割合を30%と仮定； 約43兆円 将来の効果額 $= (\text{市場規模}) \times (\text{ナノテクノロジー技術の付加価値の割合}) \times (\text{研究開発比率}) \times (\text{原研の寄与度})$ $= 43 \text{ 兆円} \times 30\% \times 6\% \times 1\%$ = <u>77 億円</u>	・SOC市場規模； 出所：産業タイムズ社「半導体工場ハンドブック2001」 ・研究開発比率；6%（研究開発活動の貢献度） ・ナノテクノロジー技術の付加価値の割合；30% ・原研の寄与度；1%

②超高分解能電子顕微鏡

試算結果	備考
超微細構造の観察手法の確立、ならびに材料の反応・成長機構の解明への貢献は非常に大きい、これらの貨幣換算は困難であり、具体的な市場創出額としては試料加工用の集束イオンビーム発生装置（F I B）の市場創出に影響を与えたと考え、同装置販売実績よりその市場創出額を試算した。顕微鏡にイオン注入装置を取り付ける手法は原研が独自に開発したものであり、大きく評価される。 ＜過去の効果額の累計＞ ・約 15 年前ごろから実用化 ・1998 年以降、50 億円程度の市場規模で推移 ・以上より台形近似で 2000 年までの市場規模を累計 過去の効果額 $= (\text{市場規模}) \times (\text{研究開発比率}) \times (\text{原研の寄与度})$ $= 475 \text{ 億円} \times 6\% \times 10\%$ $= \underline{3 \text{ 億円}}$ ＜将来（2010 年まで）の効果額の累計＞ ・2001～2010 年、同様の市場規模を維持するものと仮定 将来の効果額 $= (\text{市場規模}) \times (\text{研究開発比率}) \times (\text{原研の寄与度})$ $= 500 \text{ 億円} \times 6\% \times 10\%$ $= \underline{3 \text{ 億円}}$	・F I B 市場規模； 出所：(株) アールアンドディ「科学機器年鑑」2000 年版 市場分析編 ・研究開発比率；6% （研究開発活動の貢献度） ・原研の寄与度；10%

(2) 市場創出額（間接効果）

① 溶融塩物性の研究

試算結果	備考
溶融塩物性研究による溶融塩取扱い技術の習得が、プラント等におけるポンプ・バルブ等市場創出に間接的に貢献したと想定した。 <過去の効果額の累計> ・ポンプ市場は過去 20 年の推移を基に三角形・台形近似を行い、研究期間である 36 年間の累積市場規模を推計； ；約 7.3 兆円 ・バルブ市場は過去 20 年、4000～5000 億円の規模で推移しており、研究期間である 36 年間も同程度であったと仮定 ；約 16 兆円 過去の効果額 $= (\text{市場規模}) \times (\text{溶融塩取扱い技術の貢献度}) \times (\text{研究開発比率}) \times (\text{原研の寄与度})$ $= (7.3 \text{ 兆円} + 16 \text{ 兆円}) \times 5\% \times 6\% \times 5\%$ $= \underline{35 \text{ 億円}}$ <将来（2010 年まで）の効果額の累計> ・ポンプ・バルブ市場とも 2001～2010 年、2000 年と同様の規模を維持すると仮定；3.1 兆円（ポンプ）5 兆円（バルブ） 将来の効果額 $= (\text{市場規模}) \times (\text{溶融塩取扱い技術の貢献度}) \times (\text{研究開発比率}) \times (\text{原研の寄与度})$ $= (3.1 \text{ 兆円} + 5 \text{ 兆円}) \times 5\% \times 6\% \times 5\%$ $= \underline{12 \text{ 億円}}$	・ポンプ・バルブ等市場規模； - 出所：（社）日本産業機械工業会「最近の産業機械の機種別受注状況」、（社）日本バルブ工業会「バルブ工業概況調査報告書」等 ・研究開発比率；6%（研究開発活動の貢献度） ・溶融塩取扱い技術の貢献度；5% ・原研の寄与度；5%

(3) 付加価値創出効果

① 直接効果

試算結果
<過去の付加価値創出効果の推計> (直接効果による需要増加累計) × (粗付加価値率) =16 億円 × (粗付加価値率) =5.7 億円 <将来(2010 年まで)の付加価値創出効果の推計> (直接効果による需要増加累計) × (粗付加価値率) =80 億円 × (粗付加価値率) =28 億円

② 間接効果

試算結果
<過去の付加価値創出効果の推計> (間接効果による需要増加累計) × (粗付加価値率) =35 億円 × (粗付加価値率) =15 億円 <将来(2010 年まで)の付加価値創出効果の推計> (間接効果による需要増加累計) × (粗付加価値率) =12 億円 × (粗付加価値率) =5.0 億円

(4) 他産業に与える波及効果

① 生産誘発効果

物質科学研究分野における直接効果、間接効果が他産業に与える波及効果を産業連関分析によって試算すると、以下の通りである。

試算結果
<過去の波及効果の推計> ((直接効果による需要増加累計) + (間接効果による需要増加累計)) × (レオンチェフ逆行列表) =51 億円 × (レオンチェフ逆行列表) =140 億円 <将来(2010 年まで)の波及効果の推計>

((直接効果による需要増加累計) + (間接効果による需要増加累計)) × (レオンチェフ逆行列表)

=92 億円 × (レオンチェフ逆行列表) =289 億円

② 雇用創出効果

物質科学研究分野における直接効果、間接効果によって、新たな雇用の創出を産業連関分析によって試算すると、以下の通りである。

試算結果
<過去の雇用創出効果の推計> (他産業への波及効果) × (雇用者所得比率) / (雇用者所得) =595 人・年 <将来(2010年まで)の雇用創出効果の推計> (他産業への波及効果) / (雇用者所得比率) / (雇用者所得) =1,053 人・年

③ 定量化が困難な効果

定量化は困難であるが、経済効果を与えると想定されるその他の研究テーマとしては以下が挙げられる。

- ・多重ガンマ線検出法(中性子核物理研究);微量分析関連分野への貢献
- ・高温超伝導研究;

高温超伝導体の臨界電流密度を改善し、新しい材料を開発した。このような新材料により、水素だけでなく人体を構成する物質の観測が可能となることから、今後MRIに必須の材料となることが想定されるが、実用化にはまだ遠いことから現時点での定量評価は困難である。

- ・ヘリウム液化技術;

ヘリウムの液化技術の黎明期から同技術に取り組み、先導的な役割を果たし、その後の低温工学(リニアモーターカー等)の発展に大きく寄与したと考えられるが、実用化にはまだ遠いことから現時点での定量評価は困難である。

- ・その他学問的基盤の構築、人材育成、国際的知名度向上への貢献

2 化学的物性研究

2. 1 経済性試算の考え方

(1) 経済性試算の対象

① 技術波及と実用化状況

原子炉燃料や燃料サイクルに関連する化学的プロセス技術の研究を行い、これらの研究で得られたノウハウを利用し、有用な金属の分離技術や新材料の開発を行っている。研究成果の波及は、**Fig. A6** の技術マップにまとめた。原研内他組織としては、安全性研究、高温工学試験研究、核融合研究、中性子科学研究、研究炉開発・利用研究、バックエンド研究分野において、研究成果が活用されている。

② アウトプット及びインパクト

化学的物性研究の主な目的は、燃料サイクルの解明とその基礎技術、原子分子反応過程の解明、有用金属の次世代分離技術の開発である。**Fig. A7** の論理線図が示すような実現化活動を経て、それぞれのアウトプット、及びインパクトが展開している。

③ 対象範囲

A. 原子分子科学研究

原子分子科学研究に関する原研及び民間の活動範囲と成果の波及効果を模式的に **Fig. A8** に示す。原子分子科学研究では、原子分子反応過程の解明とそれに基づく新しい同位体分離法の開発、新物質創製及び再処理工程の改良を行っている。

B. アクチノイド科学研究

アクチノイド科学研究に関する原研及び民間の活動範囲と成果の波及効果を模式的に **Fig. A9** に示す。アクチノイド科学研究では、現在及び将来の原子炉燃料及び燃料サイクル技術を基礎・基盤から支える研究を行っている。今回、経済性試算の範囲とするのは、「乾式再処理プロセス開発」が間接的に燃料電池材料市場にもたらす経済波及である。

C. 抽出分離科学研究

抽出分離科学研究に関する原研及び民間の活動範囲と成果の波及効果を模式的に **Fig. A10** に示す。抽出分離科学研究では、核廃棄物中の金属の分離、有効利用のための次世代分離技術開発を行っている。

D. 分析センター

分析センターでは、核燃料、炉材料、廃棄物、環境物質等、多種多様の試料の分析方法や分析用標準試料を開発し、実試料の分析を行ってきた。現在は環境科学部で研究を行っている。ここでは旧化学部等での累積人員のみを加算し、累積予算、成果についての記述はしないものとする。

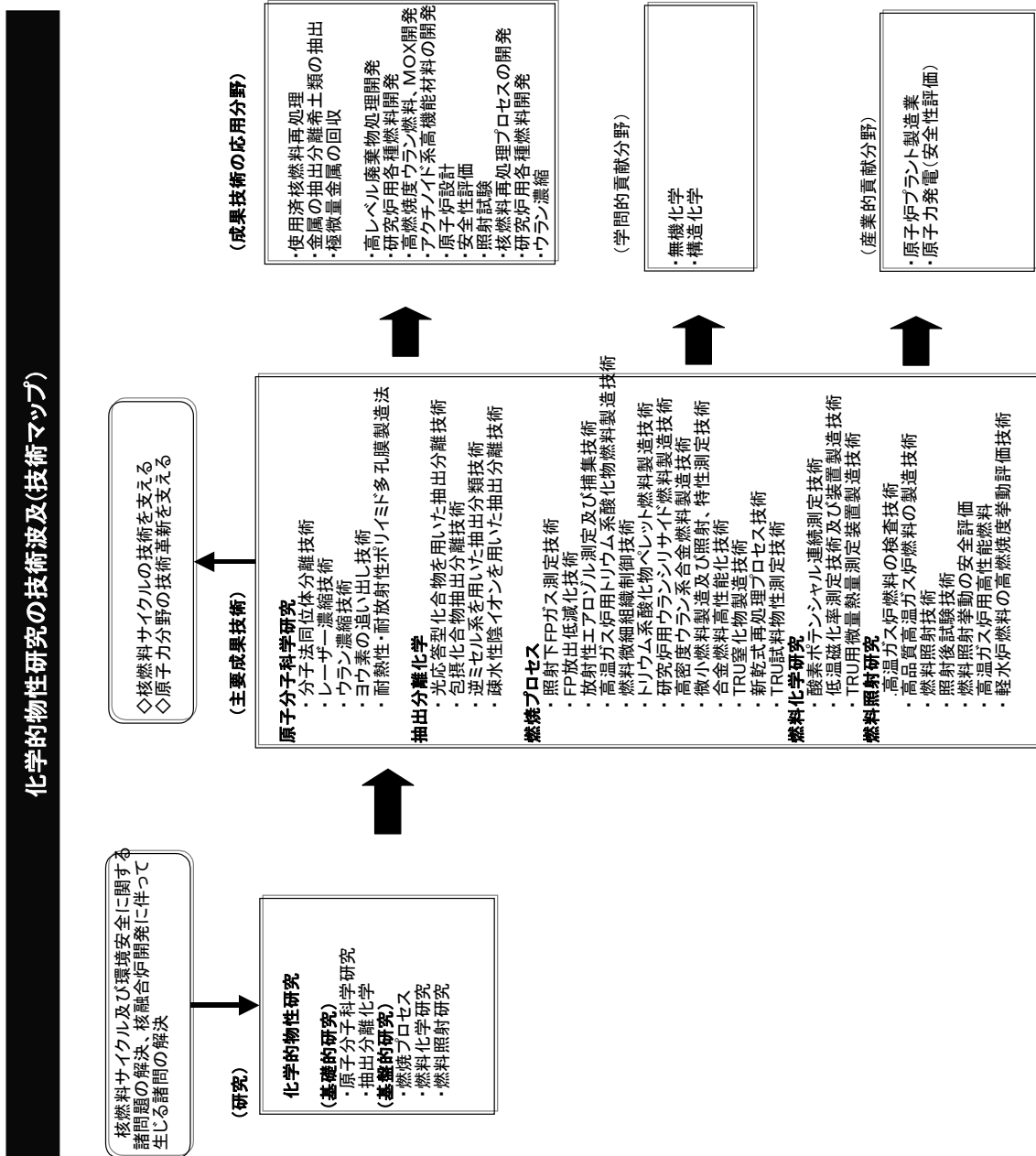


Fig. A6 化学的物性研究の技術波及 (技術マップ)

中テーマ「化学的物性研究」論理線図

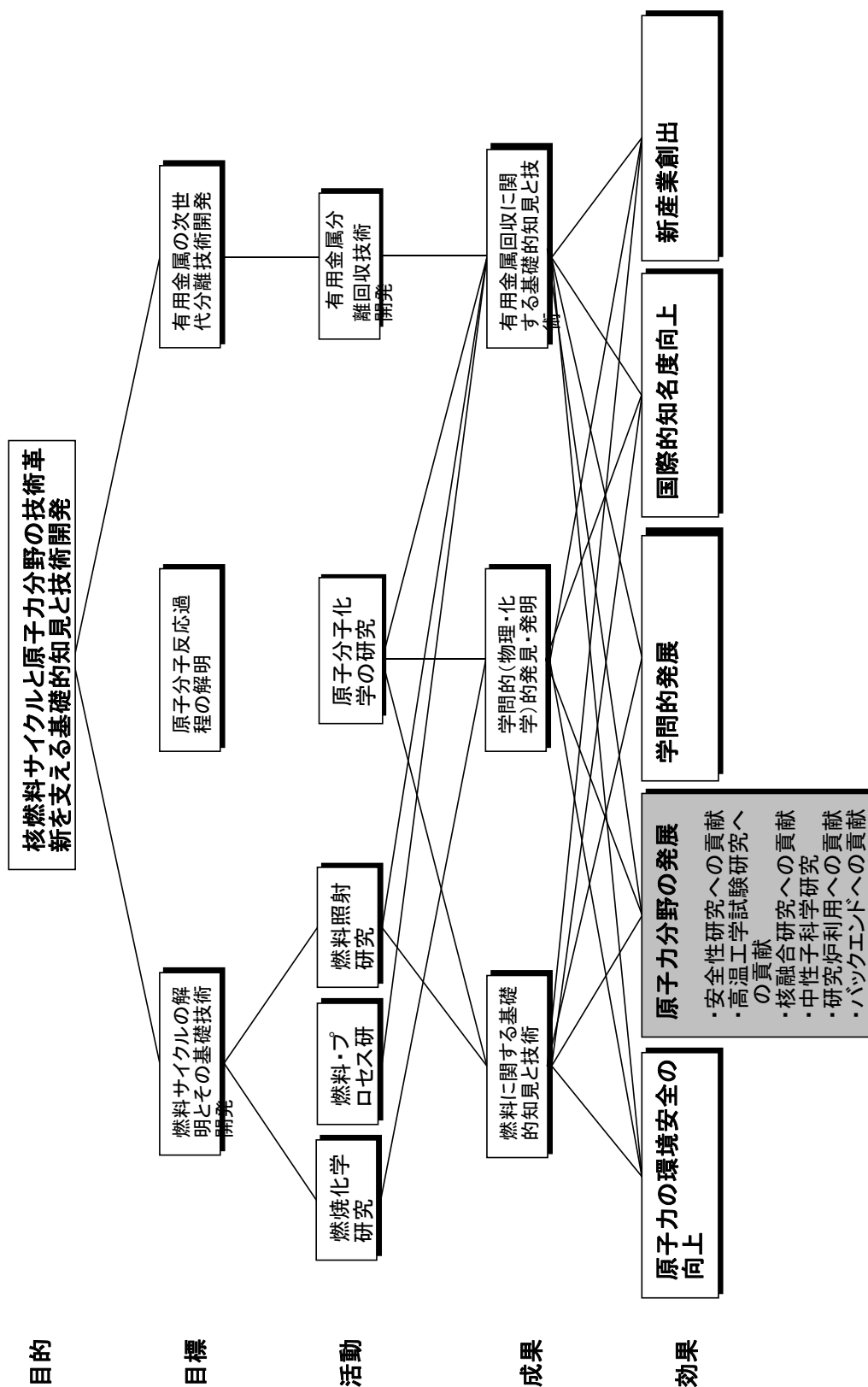


Fig. A7 化学的物性研究の論理線図

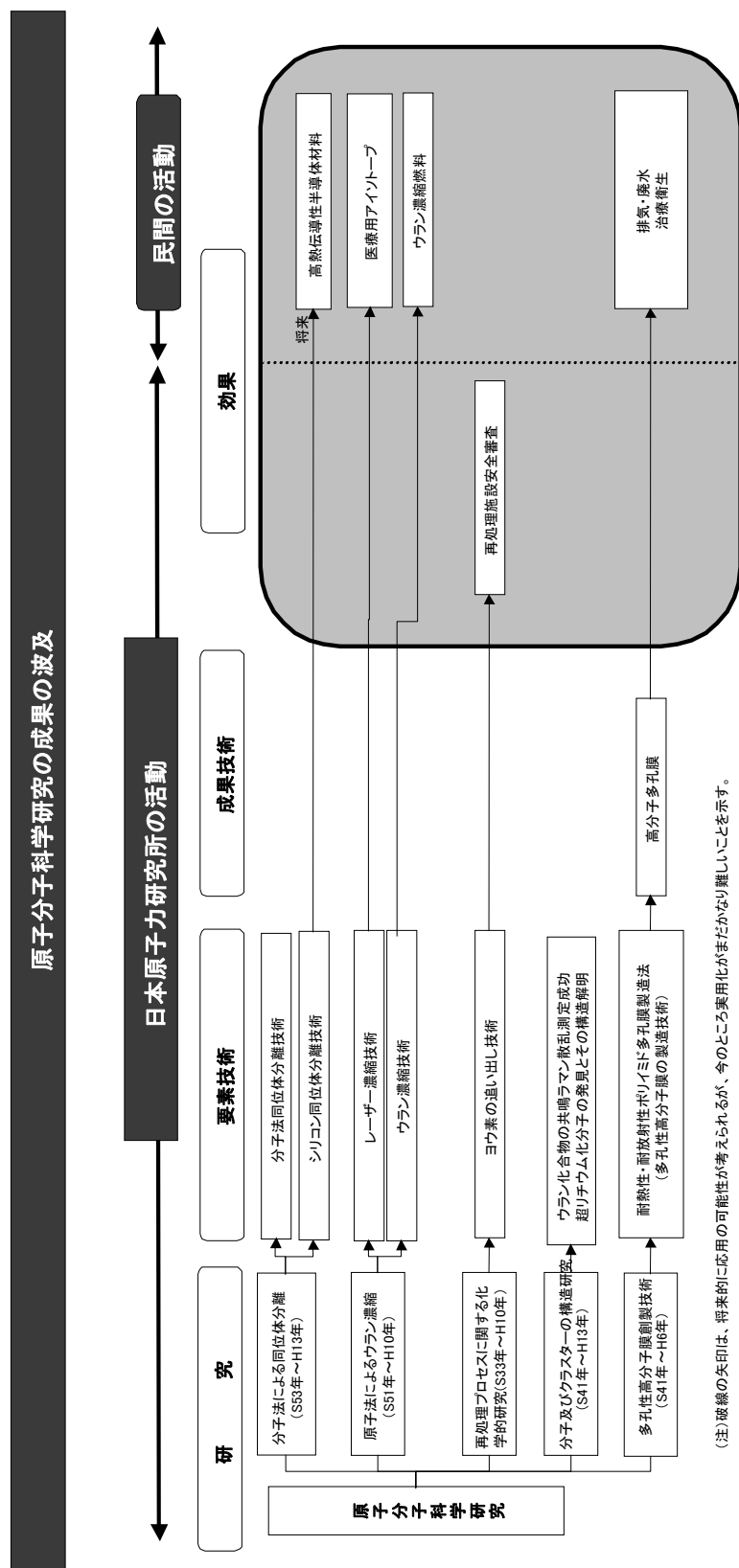


Fig.A8 原子分子科学研究に関する研究活動範囲と成果の波及効果

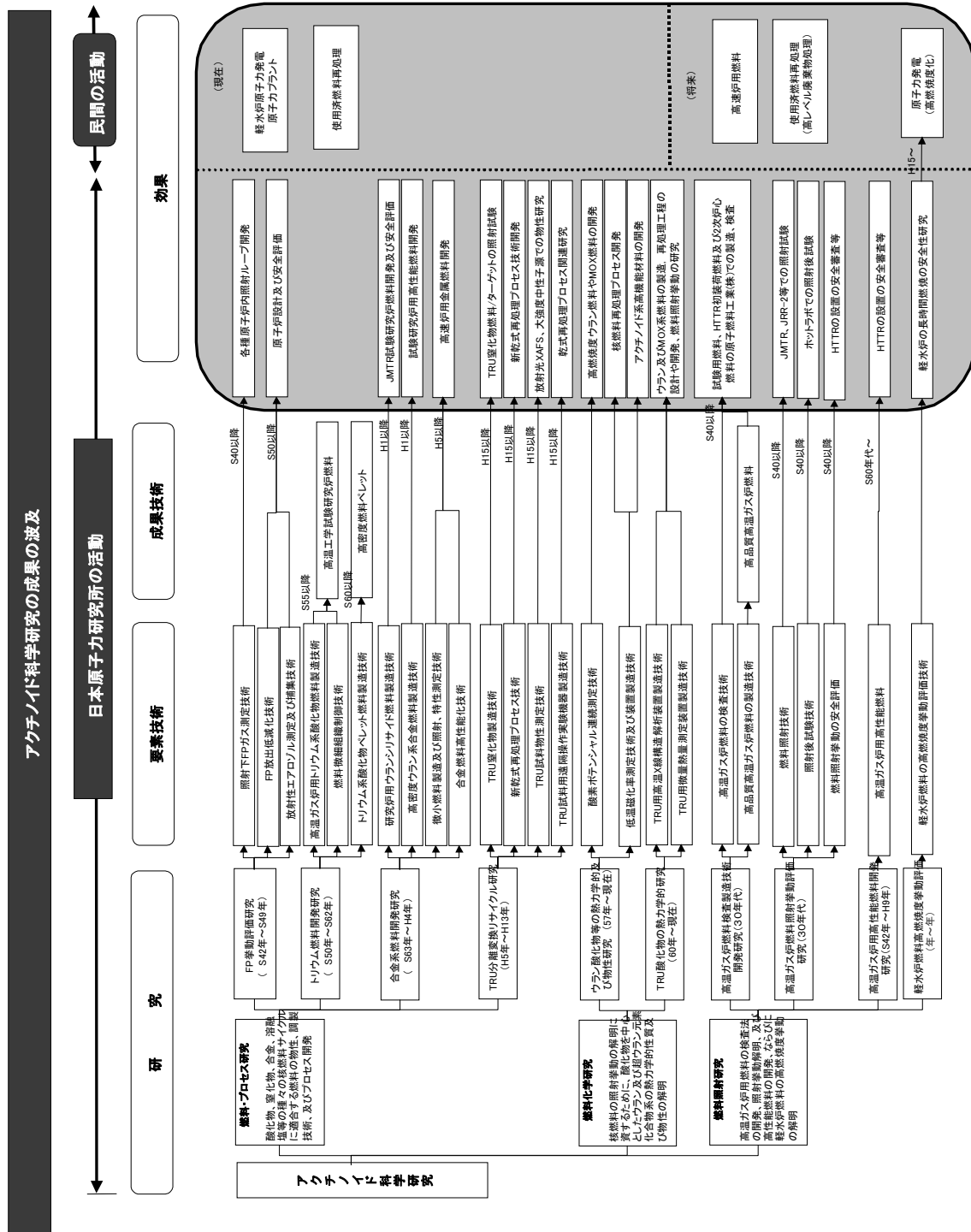


Fig.A9 アクチノイド科学研究に関する研究活動範囲と成果の波及効果

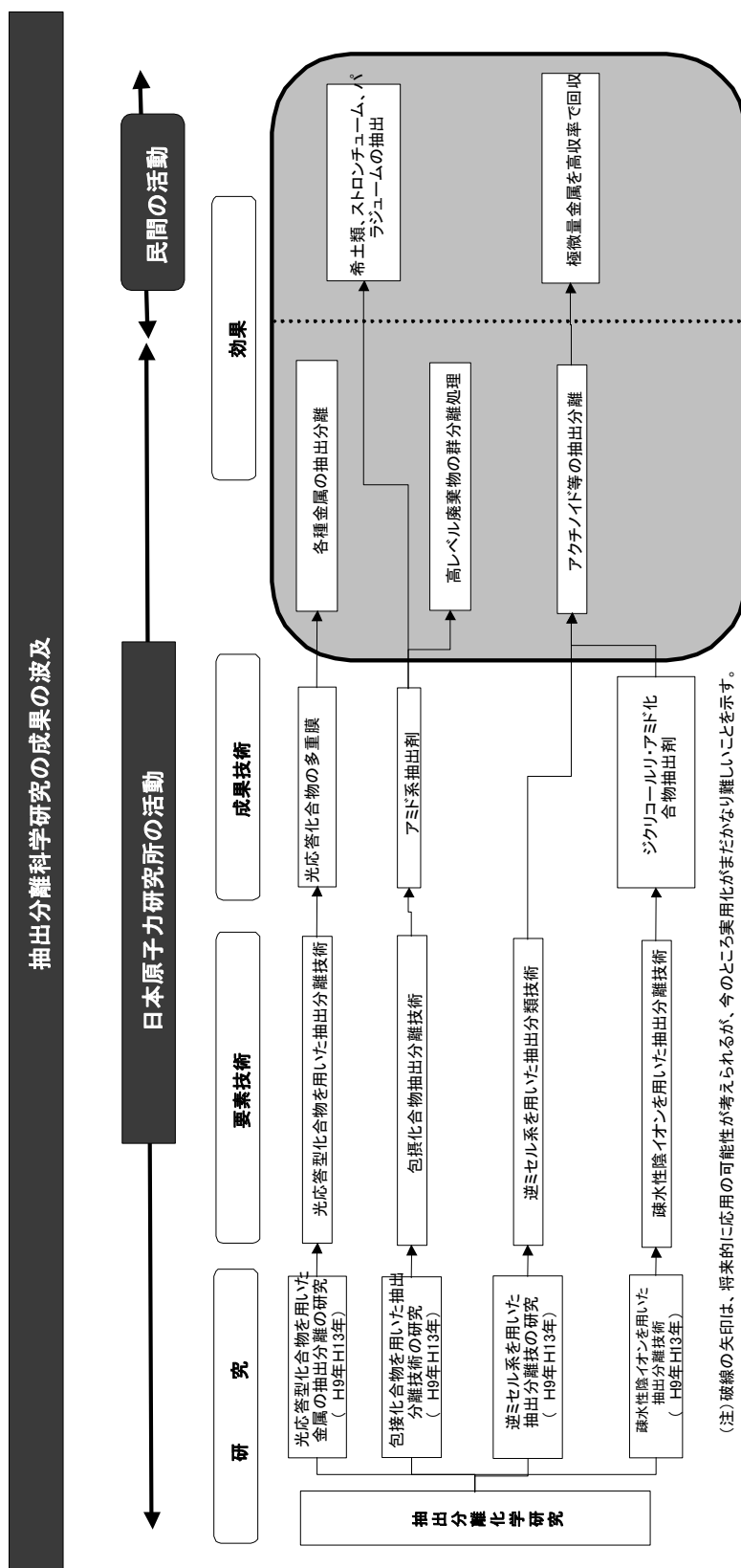


Fig.A10 抽出分離科学研究に関する研究活動範囲と成果の波及効果

(2) 経済性試算の方法

① 市場、寄与度の考え方

市場、及び効果の考え方は以下の通りとする。

研究成果	計測対象とする波及分野	市場への効果の考え方
乾式再処理プロセス開発	燃料電池材料	乾式再処理ではウランをベースとした熔融塩技術の開発を行っているが、窒化物には民生用に活用できる可能性が大きい。熔融塩を利用した燃料電池開発のための基礎研究への間接的な貢献を試算。(間接効果)

② 具体的な計算手法

経済性試算の具体的な手法は以下の通りとする。

研究成果	計測対象とする波及分野	市場の計算手法
乾式再処理プロセス開発	燃料電池材料	燃料電池の市場規模・予測より推計。 出所：(株) 日本エコノミックセンター「'00 コージェネレーション&燃料電池の現状と展望」

2. 2 経済性試算結果

(1) 市場創出額 (直接効果)

試算結果	備考
<過去の効果額の累計> 該当なし。 <将来(2010年まで)の効果額の累計> 該当なし。	

(2) 市場創出額 (間接効果)

・燃料電池

試算結果	備考
乾式再処理ではウランをベースとした熔融塩技術の開発を行っているが、窒化物には民生用に活用できる可能性が大きい。熔融塩を利用した燃料電池開発のための基礎研究への間接的な貢献を試算した。 <過去の効果額の累計> ・燃料電池市場規模実績・予測値を基に三角形近似を行い、2000年までの燃料電池市場を推計； 約300億円 ・うち熔融塩型の占める割合を25%と仮定；75億円 ・燃料電池市場に占める材料の割合を30%と仮定；23億円 過去の効果額 $= (\text{市場規模}) \times (\text{研究開発比率}) \times (\text{原研の寄与度})$ $= (23 \text{ 億円}) \times 6\% \times 1\%$ $\approx \underline{0 \text{ 億円}}$ <将来(2010年まで)の効果額の累計> ・燃料電池市場規模実績・予測値を基に三角形近似を行い、2000年までの燃料電池市場を推計； 約1,740億円 ・うち熔融塩型の占める割合を25%と仮定；435億円 ・燃料電池市場に占める材料の割合を30%と仮定；131億円 将来の効果額 $= (\text{市場規模}) \times (\text{研究開発比率}) \times (\text{原研の寄与度})$ $= (131 \text{ 億円}) \times 6\% \times 1\%$ $\approx \underline{0.1 \text{ 億円}}$ *燃料電池市場は2020年には約3600億円の市場を形成すると発表があった(日本経済新聞社・日経リサーチ)。2010年までの市場規模はまだ小さく、経済効果を評価する段階に達していないと考えられる。	・燃料電池市場規模； - 出所：(株)日本エコノミックスセンター「'00 コージェネレーション&燃料電池の現状と展望」 ・研究開発比率；6% (研究開発活動の貢献度) ・熔融塩型の占める割合；25% ・燃料電池市場に占める材料の割合；30% ・原研の寄与度；1%

(3) 付加価値創出効果

① 直接効果

試算結果
<過去の付加価値創出効果の推計> 該当なし。 <将来（2010 年まで）の付加価値創出効果の推計> 該当なし。

① 間接効果

試算結果
<過去の付加価値創出効果の推計> （間接効果による需要増加累計）×（粗付加価値率） $= 0 \text{ 億円} \times (\text{粗付加価値率}) = 0 \text{ 億円}$ <将来（2010 年まで）の付加価値創出効果の推計> （直接効果による需要増加累計）×（粗付加価値率） $= 0.1 \text{ 億円} \times (\text{粗付加価値率}) = 0.034 \text{ 億円}$

(4) 他産業に与える波及効果

① 生産誘発効果

物質科学研究分野における直接効果、間接効果が他産業に与える波及効果を産業連関分析によって試算すると、以下の通りである。

試算結果
<過去の波及効果の推計> （（直接効果による需要増加累計）＋（間接効果による需要増加累計））×（レオンチェフ逆行列表） $= 0 \text{ 億円} \times (\text{レオンチェフ逆行列表}) = 0 \text{ 億円}$ <将来（2010 年まで）の波及効果の推計> （（直接効果による需要増加累計）＋（間接効果による需要増加累計））×（レオンチェフ逆行列表） $= 0.01 \text{ 億円} \times (\text{レオンチェフ逆行列表}) = 0.27 \text{ 億円}$

② 雇用創出効果

物質科学研究分野における直接効果、間接効果によって、新たな雇用の創出を産業連関分析によって試算すると、以下の通りである。

試算結果
<過去の雇用創出効果の推計> (他産業への波及効果) × (雇用者所得比率) / (雇用者所得) =0 人・年 <将来(2010年まで)の雇用創出効果の推計> (他産業への波及効果) / (雇用者所得比率) / (雇用者所得) =1 人・年

③ 定量化が困難な効果

定量化は困難であるが、経済効果を与えると想定されるその他の研究テーマとしては以下が挙げられる。

- ・分子法による同位体分離；高熱伝導性半導体材料市場への貢献
 - ・有用金属分離回収技術；微量な有用金属、毒物の分離回収関連市場への貢献
- その他学問的基盤の構築、人材育成、国際的知名度向上への貢献

3 加速器の運転管理（タンデム加速器の運転管理）

3. 1 経済性試算の考え方

(1) 経済性試算の対象

① 技術波及と実用化状況

加速器の運転管理は、基礎研究による科学技術の発展のため、重イオン加速器の運転、開発を行うとともに、大学等との連携のもと、相互の研究者による利用を行うための体制の維持・整備を行い、重イオン科学研究の推進を図っている。研究成果の波及は、**Fig. A11** の技術マップに示す。

② アウトプット及びインパクト

加速器の運転管理の主な目的は、科学的知識に基づいた最適な加速器の運転管理、および実験設備の購入管理である。**Fig. A12** の論理線図が示すような実現化活動を経て、それぞれのアウトプット、及びインパクトが展開している。

③ 対象範囲

タンデム加速器の運転管理

タンデム加速器の運転管理に関する原研及び民間の研究活動範囲と成果の波及効果を模式的に**Fig. A13**に示す。世界最大級の重イオン加速器と超伝導技術を駆使したタンデムブースターによる重イオン核物理、核化学、物質科学研究の支援を行っている。また、各種開発を行い、研究のニーズにあった加速器施設の構築にあたる。

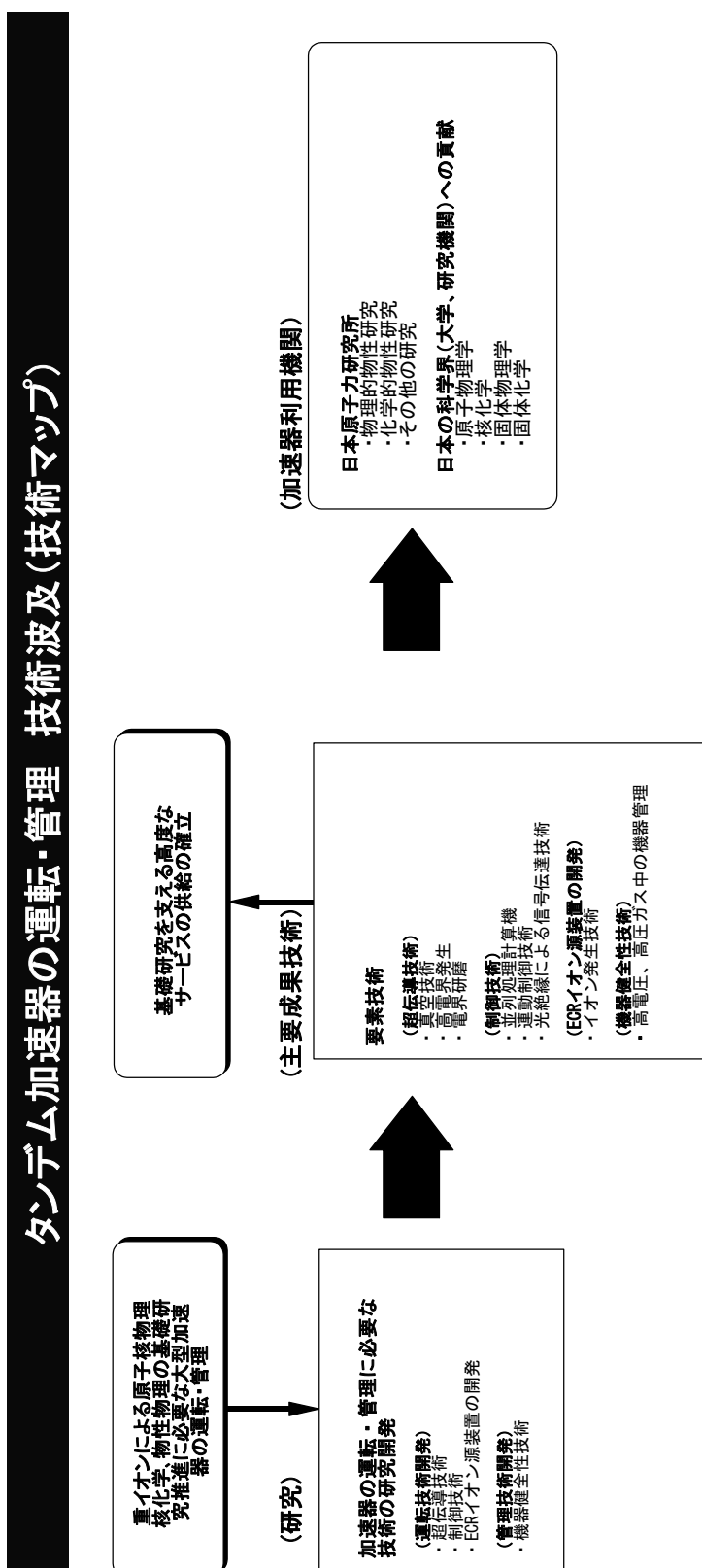


Fig. A11 タンデム加速器の運転管理に関する技術波及（技術マップ）

中テーマ「加速器の運転・管理」論理線図

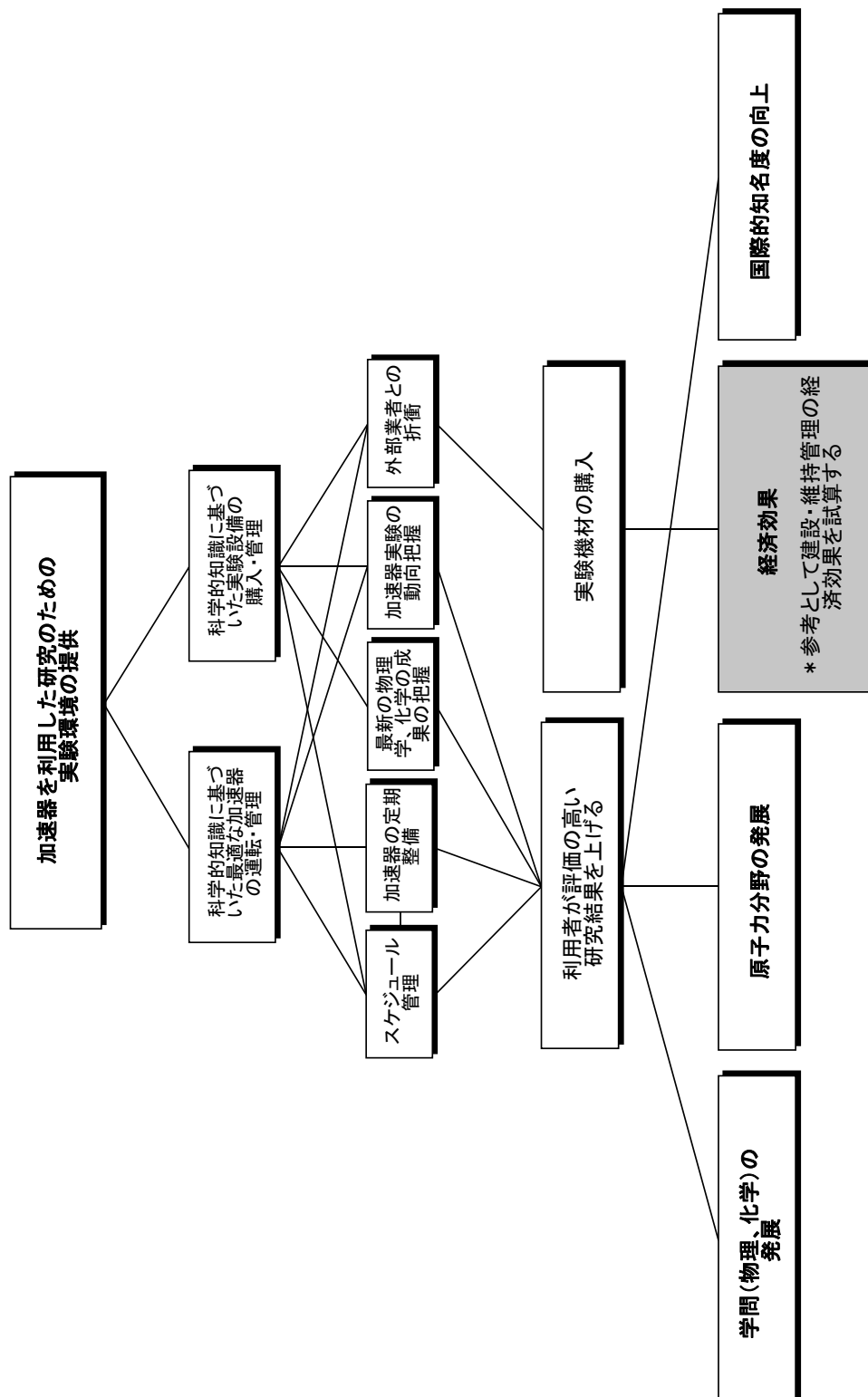


Fig. A12 タンデム加速器の運転管理に関する論理線図（中テーマでとりまとめ）

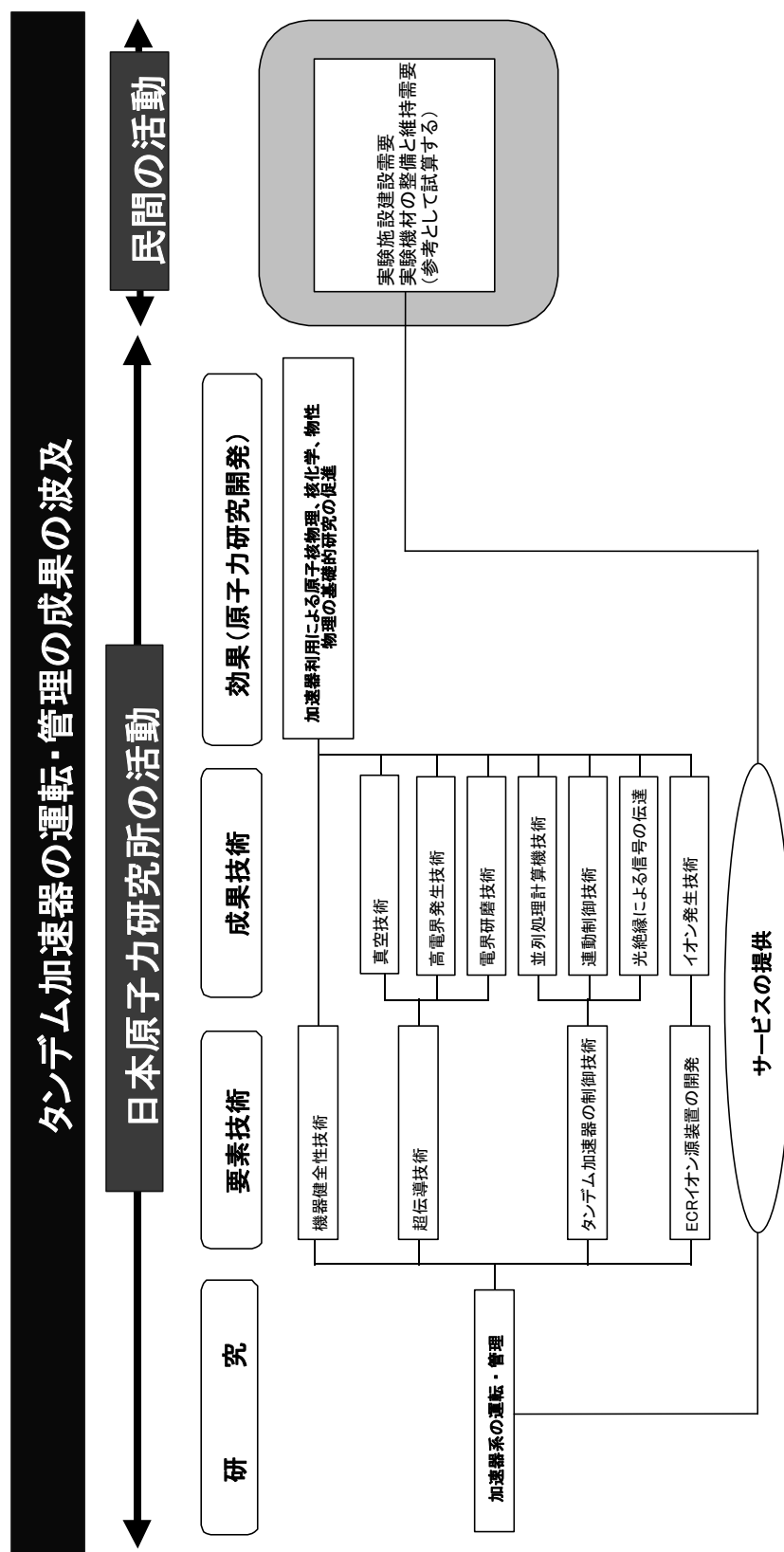


Fig. A13 タンデム加速器の運転・管理に関する研究活動範囲と成果の波及効果

3. 2 経済性試算結果

- ・ 定量化が困難な効果

貨幣換算は困難であるが、加速器の運転管理分野における原研の研究は、以下のような経済的な効果を産みだしている。

- ・ タンデム加速器の制御技術；

多目的の大型加速器の運転管理を行うことで、産業界・学界に基礎研究 のインフラを提供した貢献は大きい。また運転管理を通じて確立された各要素技術（真空技術・溶接技術など）も民間で大いに活用されているものと考えられる。

This is a blank page.

国際単位系（SI）

表 1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質モル	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速さ	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度、質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) 、濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。

(b) これらは無次元量あるいは次元 1 をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の 1 は通常は表記しない。

表 3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率、工率、放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷、電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧)、起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス度 ^(e)	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光強度	ルーメン	lm		cd sr ^(c)
放射線量の放射能 ^(f)	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
吸収線量、比エネルギー分与、カーマ	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量、周辺線量当量、方向性線量当量、個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。

(b) ラジアンとステラジアンは数字の 1 に対する単位の特別な名称で、量についての情報を付たえるために使われる。実際には、使用する時には記号 rad 及び sr が用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の 1 は明示されない。

(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号 sr を単位の表し方の中に、そのまま維持している。

(d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。

(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。

(f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で "radioactivity" と記される。

(g) 単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表 4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱流密度、放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量、エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比熱容量、比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ sA
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
電束密度、電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
モルエントロピー、モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
照射線量 (X 線及びγ 線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ sA
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ³ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ³ s ⁻¹ mol

表 5. SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表 6. SI に属さないが、SI と併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	′	1′=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	″	1″=(1/60)′=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表 7. SI に属さないが、SI と併用される単位で、SI 単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表 8. SI に属さないが、SI と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ⁻¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI 単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベベル	B	
デジベル	dB	

表 9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ボアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁻⁴ cd m ⁻²
フォトル	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≐ (10 ³ /4π) A m ⁻¹

(c) 3 元系の CGS 単位系と SI では直接比較できないため、等号「 ≐ 」は対応関係を示すものである。

表 10. SI に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリー), 4.1868 J (「IT」カロリー) 4.184 J (「熱化学」カロリー)
ミクロン	μ	1 μ =1 μm=10 ⁻⁶ m

