

化学工学研究連絡委員会
物質創製工学研究連絡委員会化学プロセス工学専門委員会報告

リサーチマップによる工学体系の 構造化に関する提案

－材料・化学・化学工学系から見る知の構造化－

平成17年8月30日

日本学術会議
化学工学研究連絡委員会
物質創製工学研究連絡委員会化学プロセス工学専門委員会

この報告は、第 19 期日本学術会議化学工学研究連絡委員会及び物質創製工学研究連絡委員会・化学プロセス工学専門委員会が合同で審議を行った結果を取りまとめて発表するものである。

委員会等構成員リスト

※は委員発令時の所属

化学工学研究連絡委員会

委員長	架谷昌信	愛知工業大学教授／名古屋大学名誉教授 ※名古屋大学大学院工学研究科教授
幹事	宝田恭之	群馬大学工学部生物化学工学科教授
幹事	黒田千秋	東京工業大学大学院理工学研究科教授

物質創製工学研究連絡委員会化学プロセス工学専門委員会

委員長	中野義夫	東京工業大学大学院総合理工学研究科教授
幹事	香田 忍	名古屋大学大学院工学研究科教授
幹事	中尾真一	東京大学大学院工学系研究科教授
	阿尻雅文	東北大学多元物質科学研究所教授
	上山惟一	大阪大学大学院基礎工学研究科教授
	薄井洋基	神戸大学工学部教授
	後藤雅宏	九州大学大学院工学研究科教授
	須藤雅夫	静岡大学工学部物質工学科教授
	田門 肇	京都大学大学院工学研究科教授
	羽野 忠	大分大学工学部応用化学科教授
	堀尾正韜	東京農工大学工学部教授

会議開催記録

第 19 期日本学術会議化学工学研究連絡委員会

物質創製工学研究連絡委員会化学プロセス工学専門委員会

全体委員会（第 5 部）平成 15 年 12 月 25 日

第 1 回委員会 平成 16 年 2 月 9 日

第 2 回委員会 平成 16 年 4 月 3 日

第 3 回委員会 平成 16 年 7 月 20 日

第 4 回委員会 平成 16 年 9 月 8 日

第 5 回委員会 平成 16 年 10 月 21 日

第 6 回委員会 平成 17 年 2 月 24 日

要 旨

1. 報告の名称

リサーチマップによる工学体系の構造化に関する提案

－材料・化学・化学工学系から見る知の構造化－

2. 報告の内容

(1) 作成の背景

20 世紀は、科学技術の飛躍的な発展を背景に科学技術の産業化が積極的に図られた時代であった。科学技術の誕生から、技術の進化、市場の拡大そして産業の膨張に伴って、科学技術知識が爆発的に増大していく一方で、科学技術基盤を支えている学術研究分野の細分化・高度化及び産業分野・領域の分業化が急速に進行している。学術分野の細分化、産業分野・領域の分業化は、学術・産業社会システムの全体像を的確に把握することが困難という状況を招いている。21 世紀は知の時代ともいわれている。こうした基本的な現状認識を共有した上で、21 世紀の科学技術革新の動向を分析・解析するためには、科学技術知識の膨大化に適応可能な優れた知識環境の構築（知の構造化）を図るとともに、学術・産業社会システムの全体像及び全体を構成している分野・領域の深化の両面を把握すべき俯瞰的な工学的手法（リサーチマップ）を考慮しておく必要がある。リサーチマップ作成から見えてくる分野・領域の関わり合いは学術の融合化、更には 21 世紀における工学の新体系化の展開に重要かつ効果的な情報となるであろう。

(2) 現状及び問題点

科学技術の発展に伴い学術分野の領域は細分化・深化が進んでいる。一方で、社会のニーズは統合化を指向することから、工学などの実学は統合を目指して進化し続けている。こうした科学技術の発展と産業の膨張化・産業の分業化が進行している過程で科学技術知識は細分化と統合化を繰り返しつつ膨張を続けている。その結果、科学技術及びその知識の全貌を俯瞰することが困難な状況となっている。このような状況を打破するための一手段として、企業の成長に重要な技術に関しては、技術ロードマップが作成され、その上で、技術戦略を決める方法が一般的にとられている。新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）では、ナノテクノロジー分野の専門家の知識を構造化し、その結果を技術ロードマップ作成に活用することを新たに試みている。このような試みは、最近、始まったばかりで、電気、機械、化学などの個々の学術分野を対象に、学術分野における研究領域の関連性・相関性を詳細に分析・解析した例は見当たらない。

(3) 改善策、提案などの内容

工学体系の構造化を図る一環として、リサーチマップの作成を試みている。リサーチマップ作成の主旨は、学術分野の知識の構造化を図るための方法論を提供することにある。リサーチマップ作成のための資料は、過去 20 年間の科学研究費補助金の報告書、過去 20 年間の NEDO 及び産学連携の報告要旨、過去 28 年間の化学工学会論文集 (Journal of Chemical Engineering Japan) と限定されているが、材料・化学・化学工学系分野の化学・技術に関する知識及び分野間の知識の相関性を視覚的に捉えることが可能である。その解析の一手法として、NEDO の「材料技術の知識の構造化プロジェクト」で開発された自然言語処理エンジン (美馬エンジン) を用いて、キーワードの抽出、キーワード間の相関性及び学術分野の領域クラスター形成に関するリサーチマップを作成した。今回調査したデータは限定されており十分とは言えないが、政策誘導型の NEDO のトップ・ダウン的研究課題と科学研究費補助金によるボトム・アップ的研究課題の報告内容を基にリサーチマップを作成・分析した結果、両者から有機的に係り合いを持つ学術分野からなる学際領域が新たな学術分野へと階層的に発展する可能性があると言う共通した結論が導かれた。さらに、化学工学の学術論文がいかなる学術分野で引用されてきたかを客観的に調査し、化学工学の立場から、リサーチマップを理解するための補助資料としている。これらの調査とリサーチマップに基づく分析を通して、以下のような点で改善が必要であり、ここに提案することとした。

- (1) 学術分野、産業分野の境界領域および分野間の係り合いをリサーチマップから視覚的に捉えることができる程度可能であることから、この手法は学術の融合化、工学の新体系の展開に効果的であると期待できる。
- (2) 理学・工学を基盤とする各学協会組織において、それぞれの立場からリサーチマップを作成して、専門分野の現状把握と融合分野形成の方向性を相互に探索することにより、理学・工学全体の自然な連携を合理的に推進しうる可能性がある。
- (3) 本報告に示された手法の可能性に鑑みて、今後、新しい研究分野の創生を促進して、技術革新の産業化を推進していく上で、関連性のある分野を単に学際領域とするのではなく、目的指向型の融合分野をスパイラル的にシステム化していくためのより普遍性の高い方法論およびその具体的手法の開発を進めるべきである。

目次

1. はじめに	1
2. リサーチマップによる工学体系の構造化	3
2. 1 科学研究費補助金報告書から見るリサーチマップ	3
(1) 自然言語処理エンジン（美馬エンジン）	3
(2) 科学研究費補助金報告書における用語と学術分野	4
(3) 知識間の相関関係と学術分野	4
(4) 自然言語処理によるリサーチマップ解析と知識の構造化	5
2. 2 NEDO 及び産官学連携の研究課題から見るリサーチマップ	15
(1) 産業技術総合開発機構（NEDO）の研究課題の件数と予算	15
(2) NEDO と産官学連携で行われた主要 4 分野（バイオ、電気・情報・通信、材 料、エネルギー）の研究課題件数の推移	16
(3) 自然言語処理によるリサーチマップ解析と知識の構造化	16
2. 3 化学工学の論文から見る関係学術分野	21
(1) 調査方法	21
(2) 調査結果	21
3. リサーチマップによる工学体系の構造化に関する提案 ..	25
[参考文献]	27

1. はじめに

この報告は、第 19 期日本学術会議化学工学研究連絡委員会及び物質創製工学研究連絡委員会化学プロセス工学専門委員会が合同で審議を行った結果を取りまとめて発表するものである。

20 世紀は、科学技術の飛躍的な発展を背景に産業化が積極的に図られた時代であった。科学技術の誕生から、技術の進化、市場の拡大そして産業の膨張に伴って、科学技術知識は爆発的に増大していく一方で、科学技術基盤を支えている学術研究分野の細分化・高度化及び産業分野・領域の分業化が急速に進行している。環境・エネルギー問題に象徴されるように、社会のニーズは先端化・高度化と同時に統合化を指向する動きも強く、工学などの実学は深化と同時に統合を目指して進化し続けていくことが求められている。こうした時代を背景に、学術・産業社会システムの全体像を的確に把握することが困難という状況を招いている。

21 世紀は知の時代ともいわれている。この基本的な現状認識を共有した上で、21 世紀の科学技術革新の動向を分析・解析するためには、科学技術知識の膨大化に適応可能な優れた知識環境の構築（知の構造化）を図るとともに、学術・産業社会システムの全体像及び全体を構成している分野・領域の深化の両面を把握すべき俯瞰的な工学的手法を考えておく必要がある。細分化されていく知の深化と同時に知の構造化を図ることは、知の統合を達成するための枠組みを提供するとともに、普遍的な体系性を具備した科学技術の新しい概念に繋がる。

企業の成長に重要な技術に関しては、技術ロードマップが作成され、その上で、技術戦略を決める方法が一般的にとられている。近年、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）では、ナノテクノロジー分野の専門家の知識を構造化し、その結果を技術ロードマップ作成に活用することが試みられている。このような試みは最近始まったばかりで、電気・機械・化学などの個々の学術分野を対象に、学術分野における研究領域の関連性・相関性を詳細に分析・解析した例は見当たらない。

このような状況下において、化学工学研究連絡委員会及び物質創製工学研究連絡委員会化学プロセス工学専門委員会が合同で審議を繰り返し、工学体系の構造化に関する手法とその方法論の提案を前提に議論を重ねた。化学工学は、もともと単位操作をプロセス・システム化することにより統合化された生産システムを生み出す工学の一つである。システム工学、プロセス工学、制御工学、数理工学等は、化学工学と類似の志向性を有しており、対象を特定の範囲に限定することなく、むしろ異種の対象から普遍性を求める学問形態であると言える。このように、化学工学そのものが他の数多くの分野と密接な関連があることから、互いの共通認識が可能な環境をいかにして

構築するか、という想いが委員の中に強かったからにほかならない。一つの試みとして、学術・産業社会システムを構成している分野・領域の深化とその全体像の両面を把握すべき俯瞰的な工学的手法として、工学及びそれに関連する科学の成果や活動状態を一望できる地図、すなわちリサーチマップの作成を提案している。リサーチマップ作成から見えてくる学術分野・産業領域の係り合いは、学術の融合化、更には 21 世紀における工学の新体系化の展開に重要かつ効果的な情報となり得ると考えている。科学技術諸分野における最新のアクティビティや協同作業の実状を分野を超えた視点からモニターし一覧するための作業を、ツールの開発ないしデータの実装を含めて推進することは、分野を超えた科学技術戦略のより効果的な展開に不可欠であり、日本学術会議においても昨今の IT 関連技術の急速な進展に遅れることなく検討を進める必要がある。

このような背景の下に、本委員会は化学工学のみならず関連分野の学術研究情報を基にリサーチマップの作成を試み、リサーチマップによる工学体系の構造化に関する取り組むべき課題について議論を行い、「リサーチマップによる工学体系の構造化に関する提案」をとりまとめている。

2. リサーチマップによる工学体系の構造化

工学体系の構造化を図る一手法として、リサーチマップの作成を試みている。リサーチマップ作成の主旨は、学術分野の知識の構造化を図るための一方法論を提供することにある。リサーチマップ作成のための資料は、過去 20 年間の科学研究費補助金の報告書、過去 20 年間の NEDO 及び産学連携の報告要旨と限定されているが、材料・化学・化学工学系分野の科学・技術に関する知識及び分野間の知識の相関性を視覚的に捉えることが可能である。これらの資料内容は、近年開発されている自然言語処理エンジンを用いて解析・処理している。更に、社団法人化学工学会が発行している英文の論文誌(Journal of Chemical Engineering Japan)に発表された学術論文を対象として、化学工学の論文がどのような学術分野で引用されてきたかを客観的に調査している。この調査は化学工学の立場から、リサーチマップを深く理解するための補助資料となり得る。

2. 1 科学研究費補助金報告書から見るリサーチマップ

リサーチマップの作成に当たって様々な手法が考えられるが、本委員会においては自然言語処理エンジン（美馬エンジン）を解析手法として採用した。ここでは、過去 20 年間の科学研究費補助金の報告書を対象に、キーワードの抽出、キーワード間の相関性及び学術分野の領域クラスター形成に関するリサーチマップを作成した。

（1）自然言語処理エンジン（美馬エンジン）

一般に、自然言語処理エンジンとは、形態素解析、構文解析、意味解析等により計算機を用いて言語の理解を行うことを目的とした処理機構である。従来、これらを用いた仮名漢字変換、機械翻訳システム、用語（概念）抽出システム、全文検索システム等のアプリケーションが開発されており、現在では、計算機の発展により大量の言語情報を高速に処理することが可能となっている。本解析では、自然言語処理エンジンとして、NEDOの「材料技術の知識の構造化プロジェクト」において開発されている美馬エンジンを用いている。「美馬エンジン」は、現在、技術マップ（特許マップ・技術シーズマップ・技術ロードマップ等）の作成と技術予測、材料設計のための発想支援、大学教育のシラバスシステムの完備（学問の集中と抜けの発見）、人材ネットワークの俯瞰（シーズとニーズのマッチング）等、自然科学のみならず、教育・政治経済といった人文系の分野においても適用の有効性が検証されつつある。美馬エンジンの特長は、図1に示すように、膨大な研究・開発の提案書及び報告書等の文献に記述されている内容をたとえ当該分野の専門知識が無くとも自然言語処理に基づいて解析し、重要な用語（概念）・その頻度を自動的に認識・抽出でき、また文献間の関連

性及び相関性とその相関強度を視覚的に捉えることができる点にある。つまり、単なる個々の情報のみならず、情報間の意味的な関連に基づいてメタな（高次の）概念を捉えることができることを意味する。

図2は、ナノマテリアルに関する特許情報を基に、“カーボンナノチューブ”に関連する特許を検索し、関連性を視覚化した結果を示している。この場合、大きく2つのトピックに分別されることについて視覚的に捉えることができる。

さらに、図3に示すように、関連の強い文献群をカテゴリとしてまとめ、カテゴリ別に並べ替えることで、P（プロセス）、S（構造）、F（機能）間の関連のような、トピックや分野に横断的に関連する知識を効率的に抽出することも可能となる。

（2）科学研究費補助金報告書における用語と学術分野

過去20年間の科学研究費補助金の報告書概要のうち、化学分野（化学・材料、応用化学、化学工学）を解析対象の一例としてとりあげ、美馬エンジンを用いて用語の自動抽出を行うとともに、1）プロセス（化学装置、それ以外の反応プロセス関連用語）、2）構造、3）機能、4）応用、5）物質・材料、の属性をもつ用語の出現頻度について解析を行った。

ここでは、1999年の報告書について、解析した結果を紹介する。まず、美馬エンジンにより自動的に抽出される用語を重要度順に並べ、上位640、重要度10以上のものについて、上記の5つの属性を付与した。応用化学、化学工学、化学・材料の各分野において自動抽出された用語のうち、これらの属性の用語が現れる頻度をプロットした結果を図4～6に示す。

いずれの分野においても、プロセスとの関わりが高いが、最も頻度の高い属性と比較し、プロセスの割合は、応用化学 30%弱、化学・材料 33%、化学工学 50%と、化学工学分野の報告書では、プロセスの視点が他の化学関連分野と比較して顕著に現れていることがわかる。

（3）知識間の相関関係と学術分野

過去20年間の化学分野の報告書概要を対象に、文書間の類似度を美馬エンジンにより評価した。図7～9にバイオをキーワードとした場合の解析結果を示す。文書間の相関が距離で示され、関連の強い文献群はクラスターを形成している。このクラスター形成は、各研究分野において重点的に行われた研究トピックスや研究の指向に大きく依存すると推察される。材料・化学の分野では、バイオミメティック材料関連、また応用化学の分野では、センサーや複合材料関連の文献に強い相関が現れている。化学工学分野では、用語解析の結果にも現れたように、バイオプロセス、バイオリアクター、逆ミセル、培養といったプロセスに関連する用語がクラスターの形成に少な

らず影響を与えていることが示唆される。本手法に基づく分析結果から、既存の研究分野を核として学際領域が成長・拡大していく姿を読み取ることができよう。

（４）自然言語処理によるリサーチマップ解析と知識の構造化

図 10 は、水素エネルギー社会の構築を例に、様々な学術分野の関わりを模式的に表したものである。製造技術、利用技術やそのリスクマネジメントについての学術領域、製造・利用技術を生み出すための素材・材料・デバイスに焦点が当てられた領域が存在する。基礎学術分野が、これらの応用技術を生み出す基盤となることは言うまでもない。このように、学問の細分化・深化が見られるものの、それぞれの学術領域は互いに有機的に関わり合い、かつ階層化された構造をとっていると言えよう。

21 世紀の工学の新体系化の展開のために、また新たな技術やシステムを生み出す上で、細分化・深化した知識を俯瞰的に把握し、構造化していくことが重要である。その一環として、自然言語処理エンジンを用いて解析・処理を試みた結果、本手法は、材料・化学・化学工学系分野の科学・技術に関する知識及び各分野間の知識の相関性を視覚的に捉えることが可能であると言えよう。従って、基盤技術・展開技術を支えている広範な分野に渡って、本手法を適用したリサーチマップの作成は工学体系の構造化につながることを期待できる。

なお、美馬エンジンは、様々な分野に適用されその有効性が示されつつある段階にあり、今後、美馬エンジンを含むリサーチマップ作成のためのエンジンの開発とそれに基づく知識の構造化の作業を並行して進める必要がある。

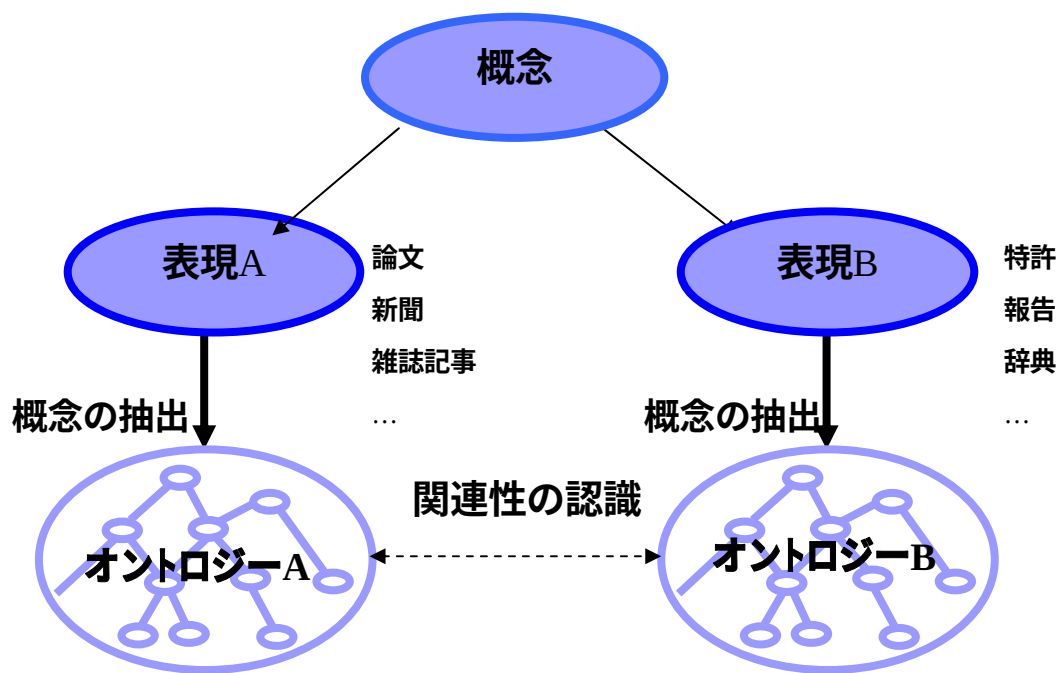


図1：概念の抽出と関連性の認識

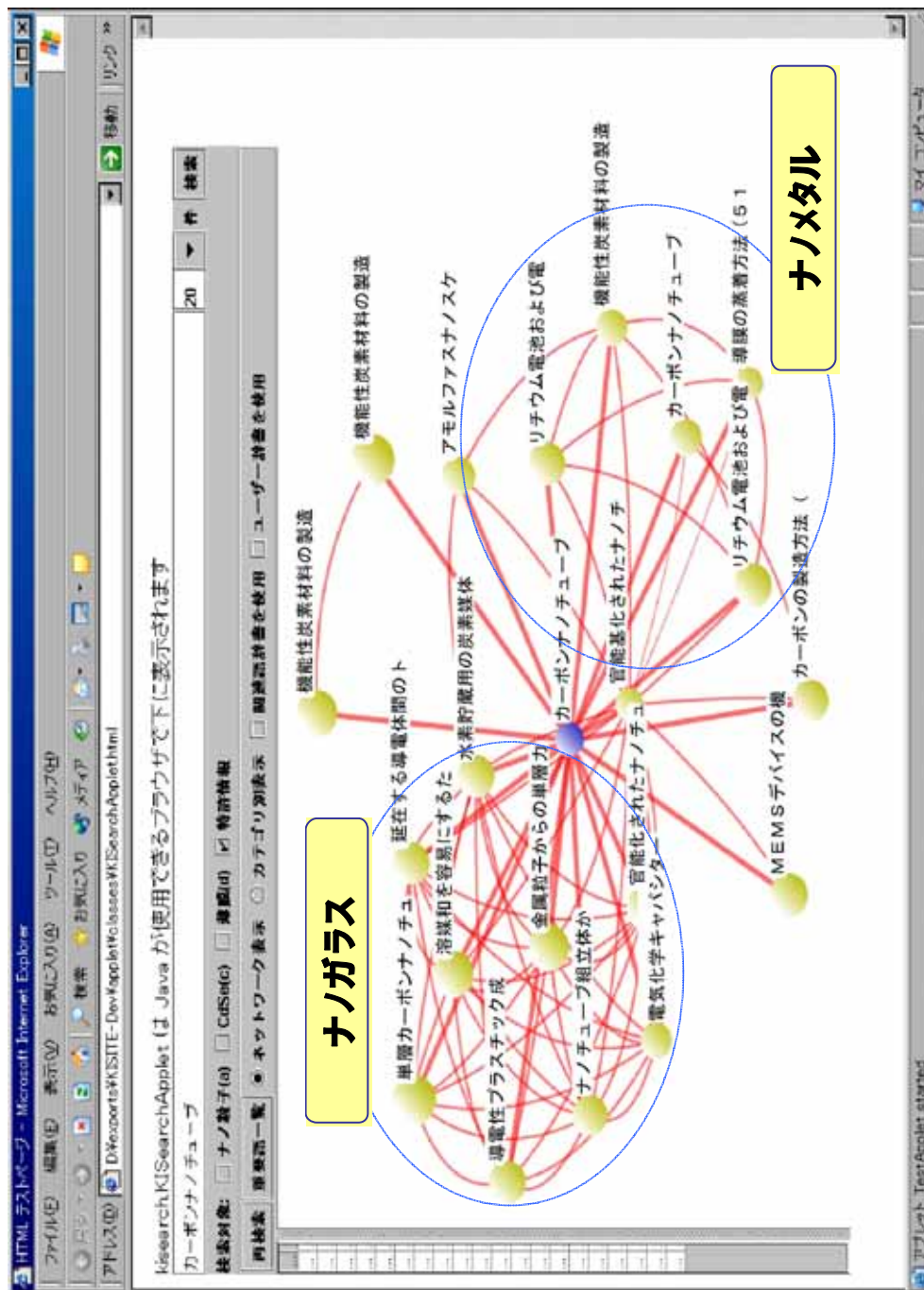


図2：美馬エンジンによる特許情報の視覚化

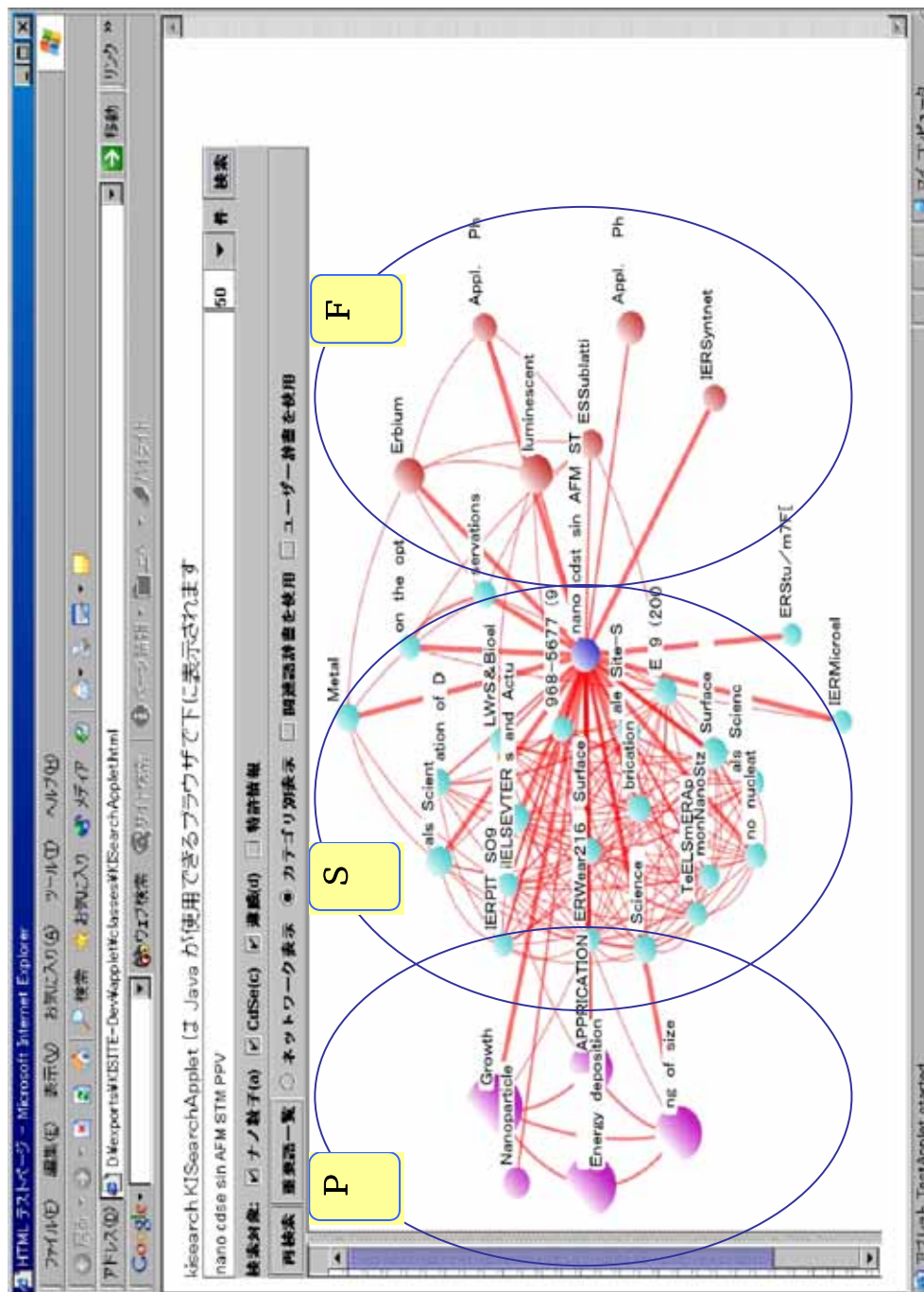


図3：カテゴリによるソート

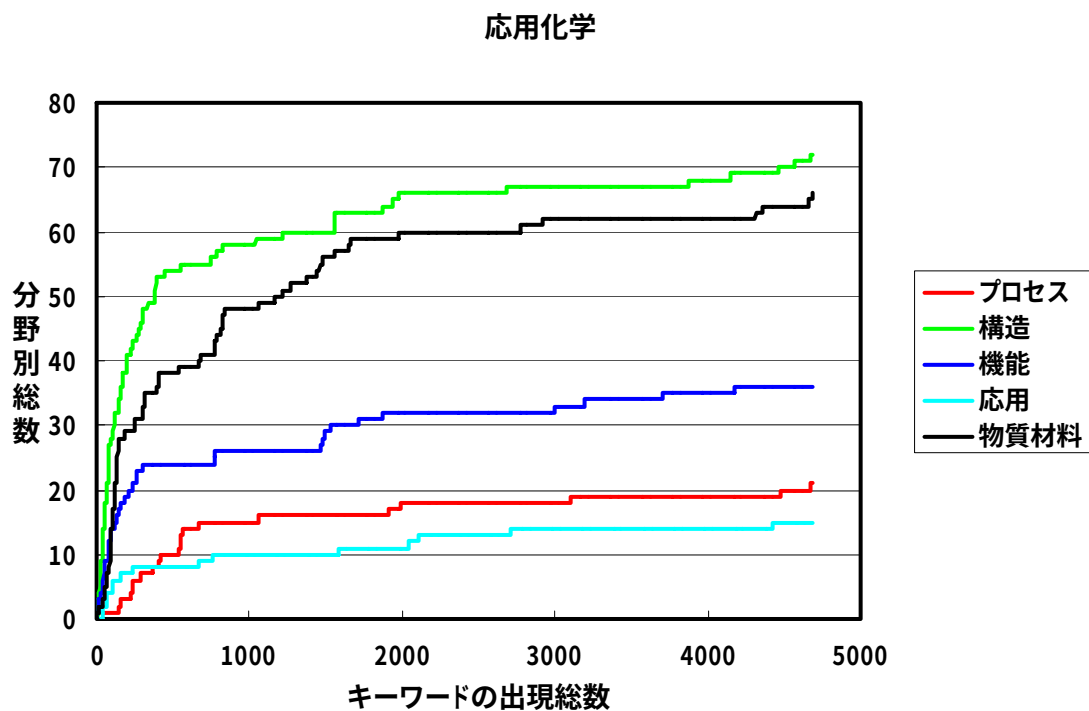


図4 応用化学分野で使われる用語の属性

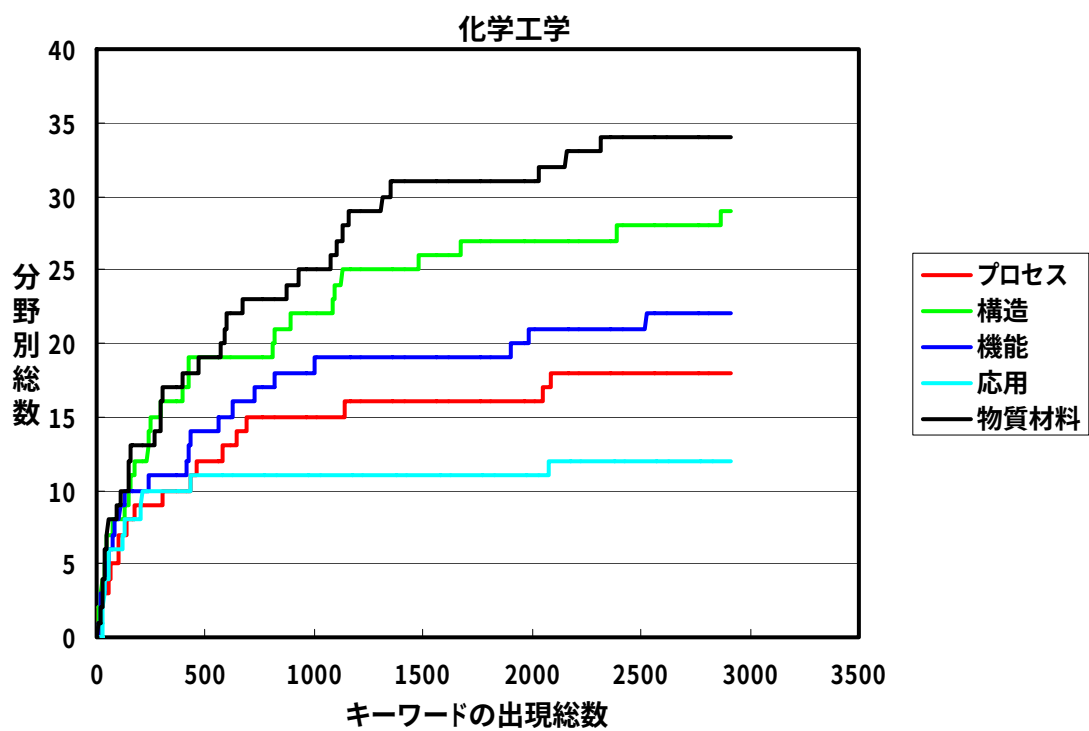


図5 化学工学分野で使われる用語の属性

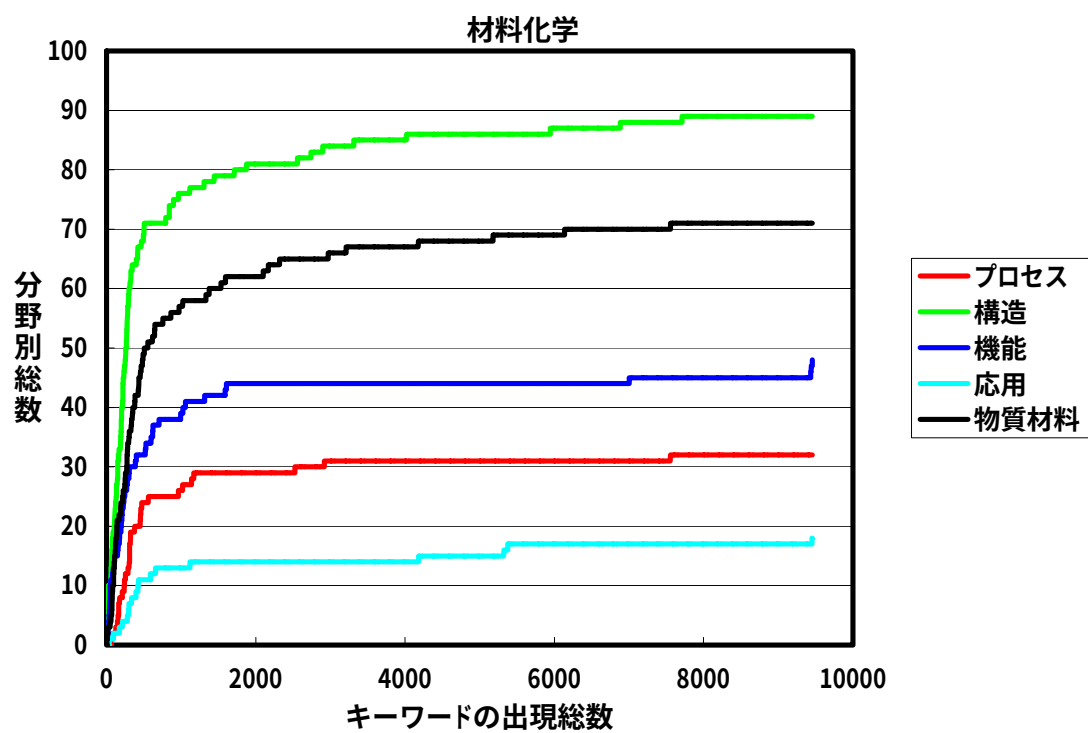


図6 化学・材料分野で使われる用語の属性

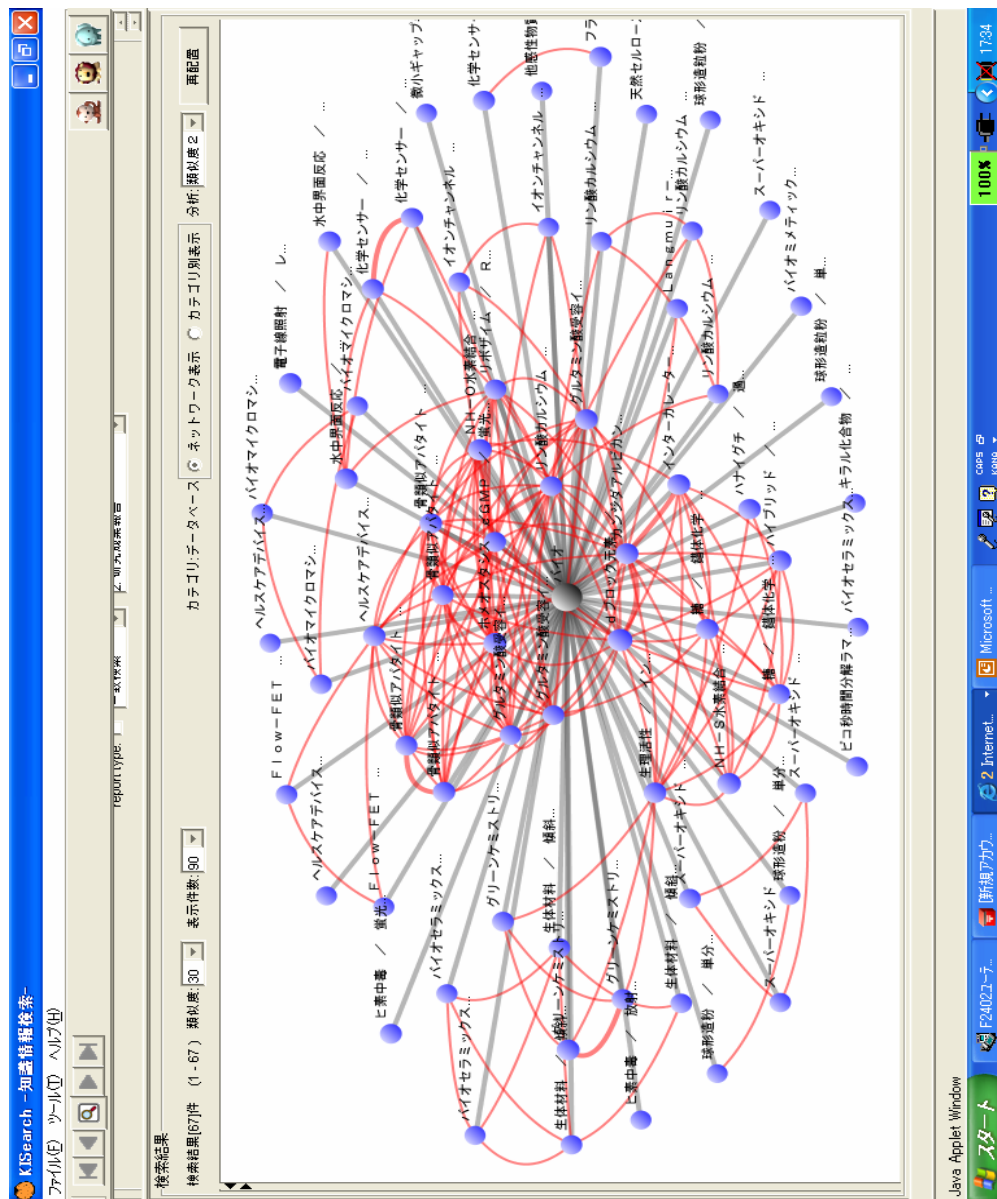


図8 化学・材料分野における知識の関係

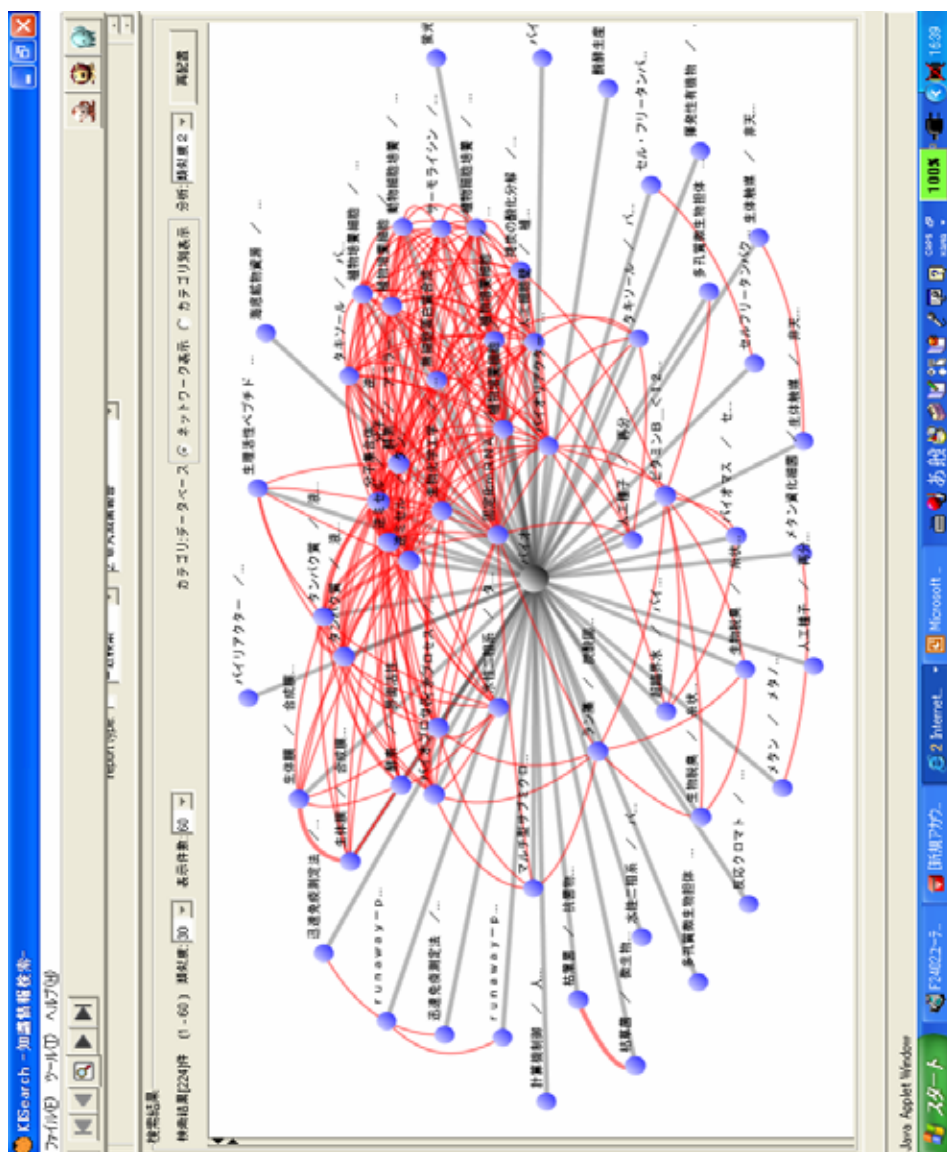


図9 化学工学分野における知識の関係

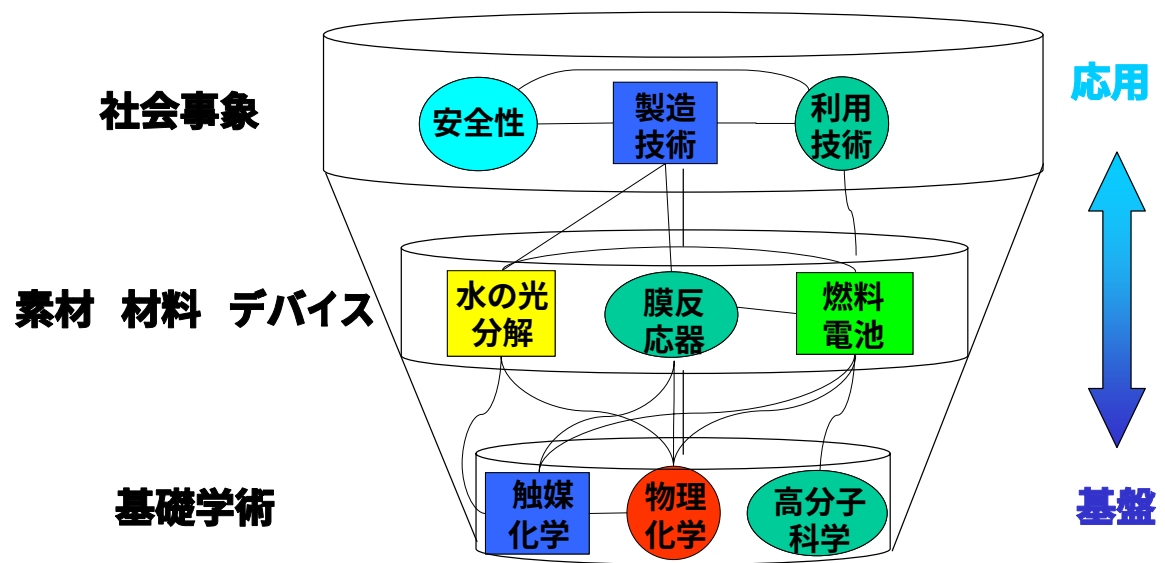


図 10 水素社会の構築を例とする学術分野の有機的結合と知識の構造化

2. 2 NEDO 及び産官学連携の研究課題から見るリサーチマップ

(1) 産業技術総合開発機構（NEDO）の研究課題の件数と予算

エネルギー・環境を国家的課題として捉え新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が1980年に設立され、既に20年以上が経過した。その成果は数年前に刊行されたNEDO20年史「叡知の飛翔」にまとめられている。NEDOにおいて実施された研究課題は当初14件であったが、2000年度実施された課題は継続も含め252件に増大した。図11に採択された課題の件数及び配分された予算の推移を分野別に示す。従来、このような経年変化を精査、分析し将来の予測が立てられてきた。NEDOの特性から、予算の大半がエネルギー分野に配分されているものの、近年、大規模化・複雑化が進行し続ける人類社会を反映して、地球環境や医療・福祉の分野の採択件数の伸びが目立っている。科学技術の発展により、研究分野が、より専門的に深化しただけでなく、複数の専門分野が集合した学際領域の育成が政策的に必要となったことも事実である。これに付随して、エネルギーに関連した、バイオ、材料、環境・医療分野の課題が徐々に取り上げられるようになった。

一方、文部科学省では、1983年から「企業との共同研究制度」を実施しており、国立大学等が企業などから研究者及び研究経費を受入れて、教員と企業研究者とが共通の課題について対等に研究を行うシステムを展開してきた。この制度は、社会の各方面からの要請・期待に大学の独創的な研究開発が応えとともに、民間との連携により大学の学術研究活動の充実・強化を期待するものである。共同研究は、1983年には56件、1993年には1,139件、2002年には4,029件と飛躍的に増加している。近年の共同研究分野は、ライフサイエンス(23%)、情報通信(15%)、環境(13%)、ナノテク材料(14%)、エネルギー(9%)、製造技術(15%)、社会基盤(7%)、フロンティア(2%)、その他(3%)となっている。特許取得件数は、2002年で94件に達し、その割合は、実施分野の比率と概ね類似している。受託金額は、1983年に6.6億円、1993年に10.8億円、2002年には32億円と約5倍に増加しているが、件数に比べると増加率は緩やかである。このことは、小額の共同研究が増加したことを示している。

また、2001年4月に独立行政法人産業技術総合研究所が発足し、産官学連携を強力に進めることになり、つくばに産官学連携部門、全国7か所に地域の産官学連携センターが設置された。最近の産業技術総合研究所のTL0技術移転例としては、バイオ(40%)、ナノ材料(30%)、環境(15%)、電機・電子(15%)である。また、近年の連携研究の特徴は、ナノ材料のバイオ、環境、エネルギー分野への適用や展開が多く、分野別に分類が困難な研究課題が多くなってきている。

(2) NEDO と産官学連携で行われた主要4分野（バイオ、電気・情報・通信、材料、エネルギー）の研究課題件数の推移

NEDO と産官学連携で行われた研究課題について代表的な4分野の比較を図12に示す。産官学連携では、材料及び電子・情報・通信の分野の課題が数多く実施され、ここ十年で実施された件数は3倍となった。バイオの分野は、NEDO、産官学連携とも、ここ数年で急速な伸びを示している。産官学連携では、エネルギーの課題は増えてはいるものの、他の分野に比べその割合が低いのが現状である。これは、NEDO がエネルギー・環境に関わる国家的課題を扱うのに対して、産官学連携では、広く産業界のニーズを映したものと考えられる。

(3) 自然言語処理によるリサーチマップ解析と知識の構造化

NEDO の20年間の研究成果の要旨を5年ごとにまとめたデータをもとに、前節で紹介された美馬エンジンを用いて解析した例を以下に示す。NEDO のプロジェクト開始当初の5年間は、データ量が不十分であり参考にならないが、最近の5年間では、図13に示すように多岐にわたって分野間の相関が認められる。エネルギー分野を中心にしてみると、明らかにエネルギーと材料あるいはエネルギーと環境の間に強い関連性のあることが分かる。また、環境を中心にしてみても環境とエネルギー、環境と材料の関連性が浮かび上がってくる。従来の工学体系では、複合領域あるいは学際領域と位置づけられる分野の重要性が垣間見える。5年ごとのマップを比較すると、各キーワード間の結びつきはより複雑化している。将来的にはますます、各キーワード間の関連性はより多くなるものと予測される。これまで、分野間にまたがる領域は、学際領域として位置づけられてきた。しかし、学際領域は既存の研究分野を核として見たものであり、学際領域が成長し核を吸収する可能性もある。

リサーチマップの一つとして、美馬エンジンを用い NEDO 報告書により現状分析を行ったところ、トップ・ダウン的な政策誘導の結果とはいえ、既存の研究分野を核として、今後ますます成長・拡大・複雑化していく学際領域の動向が時系列的に読み取れる。この結果は先に示したボトム・アップ的な科学研究費補助金報告書に基づくリサーチマップの分析結果に共通するところがあることは興味深い。このような分析から、電気、機械、化学など単純な工学体系では、対応しきれなくなりつつあることが予想される。21世紀が持続可能な社会へと発展するためには、関連性のある分野を単に学際領域とするのではなく、目的指向型の融合分野の形成が必要となるであろう。例えば、従来の工学体系で学際領域と呼ばれた分野では、個々の分野に基盤をおいた異分野の専門家が集まって問題解決を図ってきた。一方、図10に示す如く、高効率燃料電池システム

の構築という目的を達成するためには、必要とする知識を如何に抽出し融合することが必要であるかを示唆している。さらに、機能的な融合を計るためには、融合分野内の知識、技術を効率的に結ぶ概念やプロセスの構築が必要である。

「研究」は真理を探求するもの、「研究開発」は社会に役立つものを生み出すものと広辞苑は定義しているが、大学の知を戦略的に体系化し、さらに次世代への技術のスパイラルアップのために、産官学連携研究は重要性を増している。未来への価値の創造のための産学官連携のためには、リサーチマップによる「知の構造化」と「知識循環モデル」が重要である。産官学が「構造化された知識」を共有することは、社会のニーズに迅速かつ的確に対応する上で貴重な示唆を与えるものと期待される。今後は、本報告で採用した美馬エンジン手法の更なる実践的検証を含め、より普遍性の高い方法論とその信頼性の確保、及びその具体的な開発を進めていくべきである。

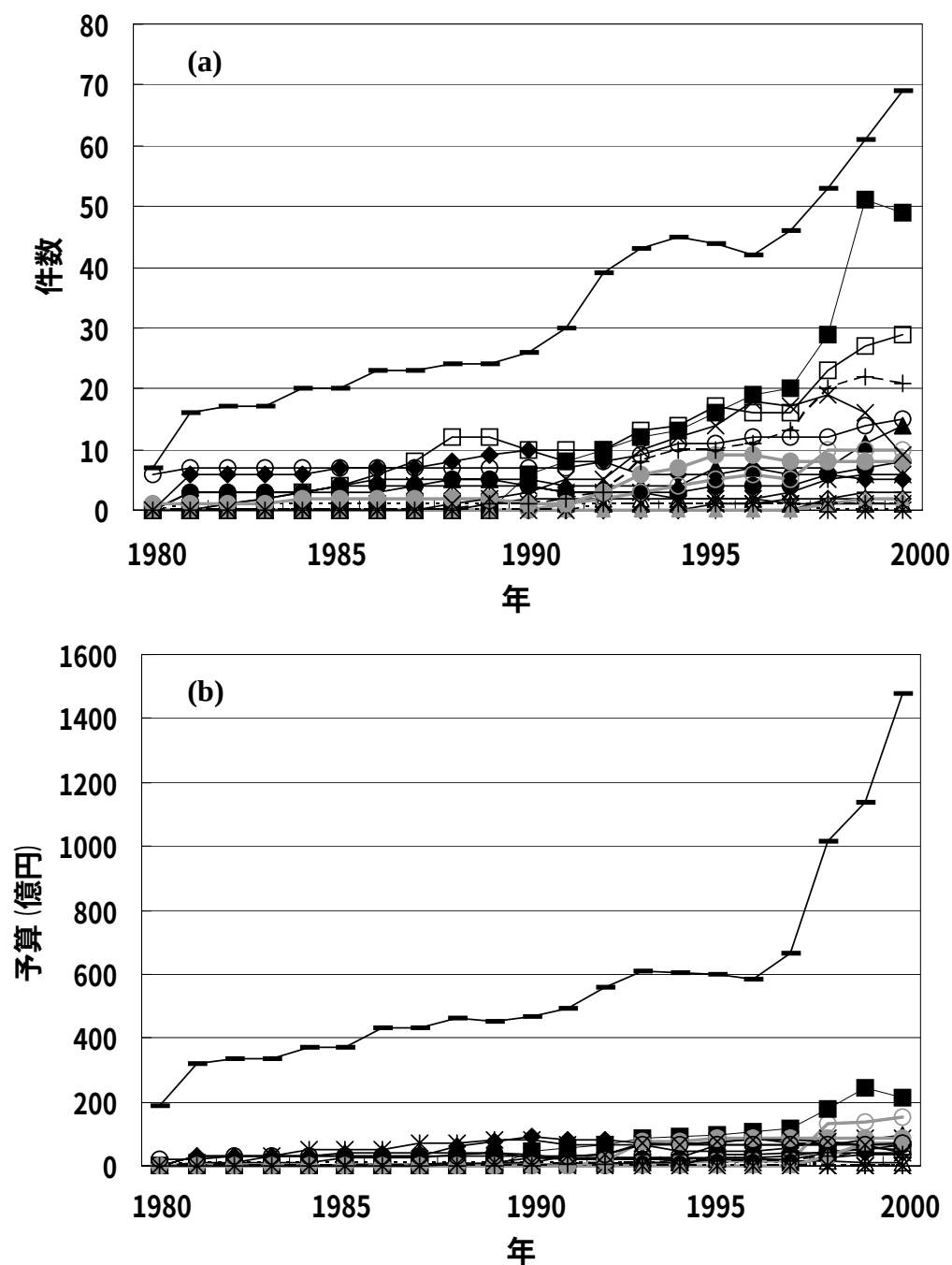
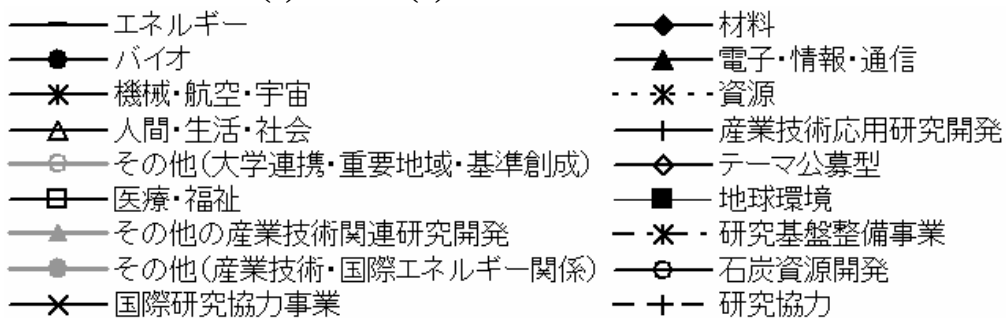


図 11 NEDO 分野別の件数及び予算の推移

(a) 件数 (b) 予算



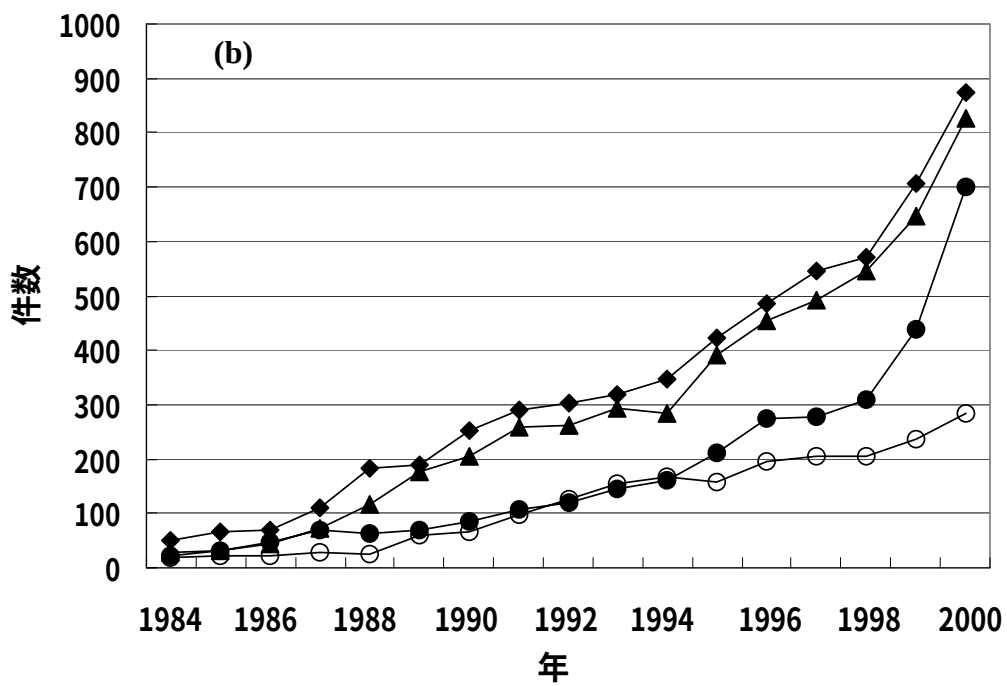
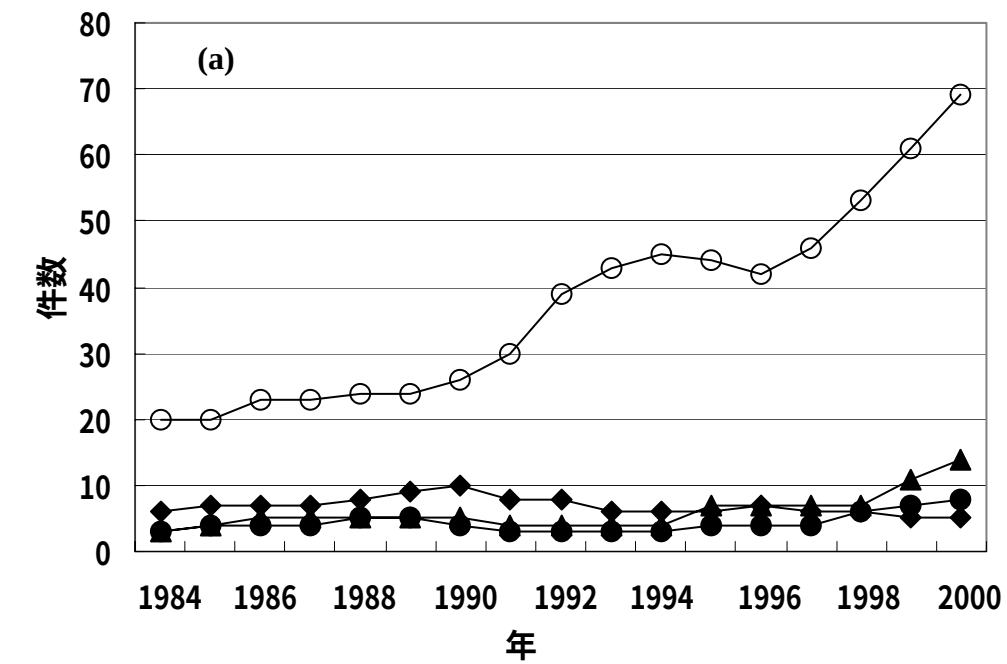
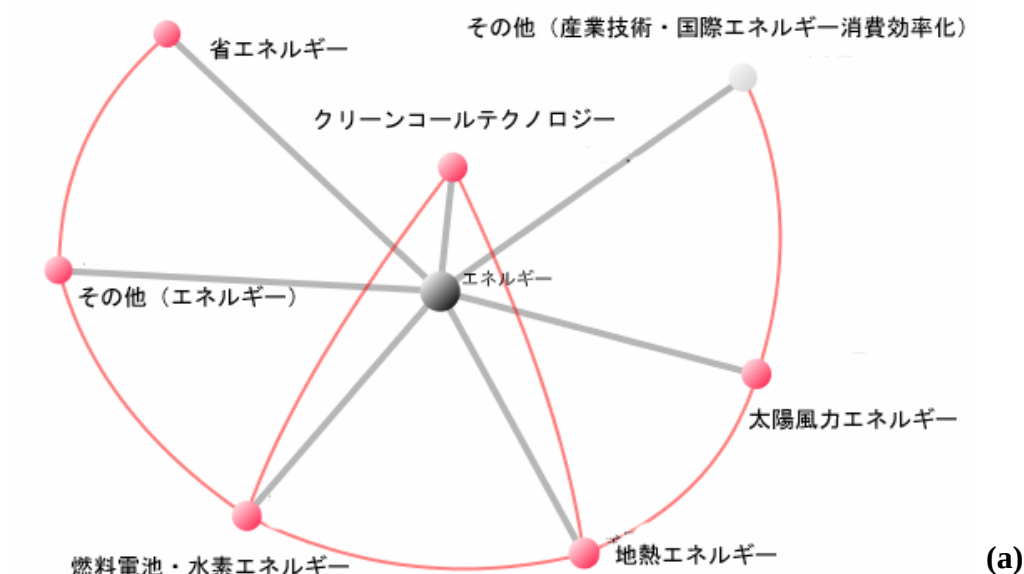
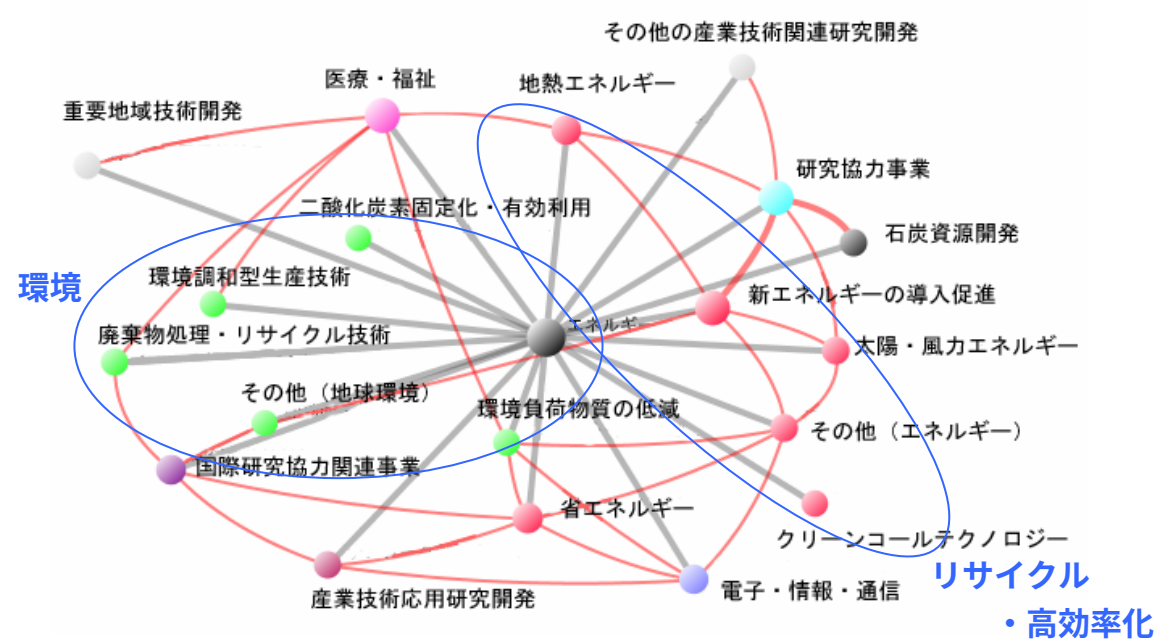


図 12 主要 4 分野の件数の推移
(a) NEDO (b)産学連携

● バイオ ▲ 電子・情報・通信
◆ 材料 ○ エネルギー



(a)



(b)

図 13 エネルギー関連分野の推移

(a) 1980-1984 年 (b) 1996 年以降

- 環境 ● エネルギー ● 国際研究協力事業 ● 電子・情報・通信
- 医療・福祉 ● 産業技術応用研究開発 ● 研究協力 ● その他

2. 3 化学工学の論文から見る関係学術分野

2. 1 節及び 2. 2 節においては、限られた分野における科学研究費補助金の報告書と NEDO の研究課題報告要旨からリサーチマップの作成を試み、材料・化学・化学工学系に関する知の構造化を図っている。リサーチマップからより一般性のある構造化に関する結論を導くためには、膨大な学術論文を基にリサーチマップを作成する必要がある。しかしながら、このことを実行するためには、たとえ化学工学という一分野に限っても国内外の極めて大量な学術論文の処理が必要であることから、現状では、労力的にも予算的にも困難である。従って、本報告書においては、社団法人化学工学会が発刊している英文の論文誌 (Journal of Chemical Engineering of Japan) に発表された学術論文を対象として、化学工学の論文がどのような学術分野で引用されてきたかを客観的に調査している。この調査は、化学工学の立場から、リサーチマップを理解するための補助資料としている。

(1) 調査方法

- ・ 対象論文集：Journal of Chemical Engineering of Japan
- ・ 対象年度：1978 年から 2005 年 3 月
- ・ 対照論文：50 回以上引用された論文
- ・ 調査手段：米国 ISI 社が提供するデータベース (Web of Science, <http://isi15.isiknowledge.com/portal.cgi/wos>)

上記データベースを使用して、1978 年から 2005 年 3 月までに Journal of Chemical Engineering of Japan に掲載された全論文から 50 回以上引用されている論文を取り上げ、当該論文がどのような分野の論文に引用されているかを調べ、化学工学と関係が深い学問分野を明確にする。

(2) 調査結果

調査結果を表 1 に示す。1978 年から 2005 年 3 月までに Journal of Chemical Engineering of Japan に掲載された全論文の中で 50 回以上引用された論文は 37 報であった。表 1 に示されているように、引用が最も多い論文は論文番号 (1) の 1983 年に発表された論文であり、引用回数は 620 回である。この論文の引用回数の年次変化を

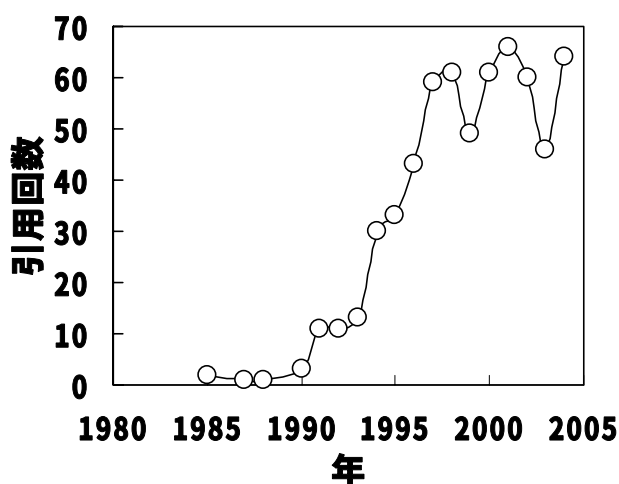


図 14 論文(1)の引用数の年次変化

図 14 に示す。論文が掲載されたのは 1983 年であるので、10 年経過した後の引用が著しく増加していることがわかる。本論文は「多孔性物質のミクロ細孔の分布を決定する手法」を提案したもので、最近の引用数の急増はミクロ細孔のキャラクタリゼーションとして定着してきたことによる。この結果は、化学工学の分野で引用数が多い論文は長期間にわたって引用されることを明確に示すものである。表 1 から、引用が多い研究分野としては、物性、分離膜、吸着、抽出、生物化学工学があげられる。

表 1 Journal of Chemical Engineering of Japan に 1977 年から 2004 年までに掲載された引用数が 50 回以上の論文 (2005 年 3 月現在)

	題 名	巻	頁	年	引用 数
1	METHOD FOR THE CALCULATION OF EFFECTIVE PORE-SIZE DISTRIBUTION IN MOLECULAR-SIEVE CARBON	16	470	1983	620
2	DETERMINATION OF NEW ASOG PARAMETERS	23	453	1990	149
3	ANALYSIS OF SOLUTES REJECTION IN ULTRAFILTRATION	14	32	1981	141
4	AN ACCURATE EQUATION OF STATE FOR CARBON-DIOXIDE	18	490	1985	119
5	HIGH-DENSITY CULTIVATION OF BIOMASS IN FED-BATCH SYSTEM WITH DO-STAT	12	313	1979	110
6	DEVELOPMENT OF NEW SURFACTANT FOR LIQUID SURFACTANT MEMBRANE PROCESS	20	157	1987	95
7	MODELS FOR THE SEPARATION OF GLUCOSE FRUCTOSE MIXTURE USING A SIMULATED MOVING-BED ADSORBER	16	400	1983	78
8	REVERSE-OSMOSIS OF SINGLE AND MIXED ELECTROLYTES WITH CHARGED MEMBRANES - EXPERIMENT AND ANALYSIS	24	518	1991	78
9	MASS-TRANSFER COEFFICIENT IN CYCLIC ADSORPTION AND DESORPTION	16	114	1983	76
10	CALCULATION OF ION REJECTION BY EXTENDED NERNST-PLANCK EQUATION WITH CHARGED REVERSE-OSMOSIS MEMBRANES FOR SINGLE AND MIXED ELECTROLYTE-SOLUTIONS	24	511	1991	76
11	EFFECT OF DISPERSED-PHASE VISCOSITY ON MAXIMUM STABLE DROP SIZE FOR BREAKUP IN TURBULENT-FLOW	10	325	1977	75
12	PHASE-EQUILIBRIA FOR CO ₂ -C ₂ H ₅ OH-H ₂ O SYSTEM	19	48	1986	72
13	EXTRACTION OF COPPER WITH LIQUID SURFACTANT MEMBRANES CONTAINING BENZOYLACETONE	12	203	1979	71
14	AN ADSORPTION-ISOTHERM OF MULTI-SITE OCCUPANCY MODEL FOR HOMOGENEOUS SURFACE	17	39	1984	69
15	GROWTH-CHARACTERISTICS OF PLANT HAIRY ROOTS AND THEIR CULTURES IN BIOREACTORS	22	84	1989	66
16	OXIDATIVE-DEGRADATION OF AQUEOUS PHENOL EFFLUENT WITH ELECTROGENERATED FENTONS REAGENT	19	513	1986	65
17	SIMULATION OF NON-ISOTHERMAL PRESSURE SWING ADSORPTION	16	53	1983	63
18	EXTRACTION KINETICS OF COPPER WITH HYDROXYOXIME EXTRACTAN	13	204	1980	62
19	PROPERTIES OF POROUS ANODIC ALUMINUM-OXIDE FILMS AS MEMBRANES	17	514	1984	59

20	EXTRACTION OF PEPPERMINT OIL BY SUPERCRITICAL CARBON-DIOXIDE	26	401	1993	59
21	GAS-DIFFUSION IN MICROPOROUS MEDIA IN KNUDSEN REGIME	16	120	1983	58
22	PRODUCTION OF BUTANOL BY CLOSTRIDIUM-ACETOBUTYLICUM IN EXTRACTIVE FERMENTATION SYSTE	18	125	1985	58
23	SEPARATION OF ETHYLENE FROM ETHANE BY SUPPORTED LIQUID MEMBRANES CONTAINING SILVER-NITRATE AS A CARRIER	19	419	1986	58
24	A MEMBRANE REACTOR USING MICROPOROUS GLASS FOR SHIFTING-EQUILIBRIUM OF CYCLOHEXANE DEHYDROGENATION	21	399	1988	57
25	A GENERALIZED PATEL-TEJA EQUATION OF STATE FOR POLAR AND NONPOLAR FLUIDS AND THEIR MIXTURES	23	87	1990	55
26	EVALUATION OF PORE STRUCTURE AND ELECTRICAL-PROPERTIES OF NANOFILTRATION MEMBRANES	28	186	1995	55
27	TOPOLOGICAL AND THERMODYNAMIC CLASSIFICATION OF TERNARY VAPOR-LIQUID-EQUILIBRIA	10	181	1977	54
28	SEPARATION OF ALCOHOL WATER GASEOUS-MIXTURES BY THIN CERAMIC MEMBRANE	19	72	1986	54
29	MODELS OF MEMBRANE-TRANSPORT PHENOMENA AND THEIR APPLICATIONS FOR ULTRAFILTRATION DATA	15	200	1982	53
30	GAS HOLDUP AND VOLUMETRIC LIQUID-PHASE MASS-TRANSFER COEFFICIENT IN BUBBLE COLUMN WITH DRAFT TUBE AND WITH GAS DISPERSION INTO ANNULUS	16	407	1983	53
31	FLUIDIZATION STATE OF ULTRAFINE POWDERS	21	41	1988	53
32	TURBULENT COAGULATION OF PARTICLES DISPERSED IN A VISCOUS-FLUID	16	299	1983	51
33	EFFECT OF BROWNIAN DIFFUSION ON ELECTRICAL CLASSIFICATION OF ULTRAFINE AEROSOL-PARTICLES IN DIFFERENTIAL MOBILITY ANALYZER	19	401	1986	51
34	DIFFUSION MEASUREMENT OF TRITIUM LABELED POLYSTYRENE IN POLYMER BULK - EFFECT OF MOLECULAR-WEIGHT ON DIFFUSION-COEFFICIENT	12	1	1979	50
35	AXIAL-DISPERSION CHARACTERISTICS OF 3 PHASE FLUIDIZED-BEDS	16	172	1983	50
36	THE CLUSTERING ANNULAR-FLOW MODEL OF CIRCULATING FLUIDIZED-BEDS	22	484	1989	50
37	NONCATALYTIC CONVERSION OF CELLULOSE IN SUPERCRITICAL AND SUBCRITICAL WATER	26	676	1993	50

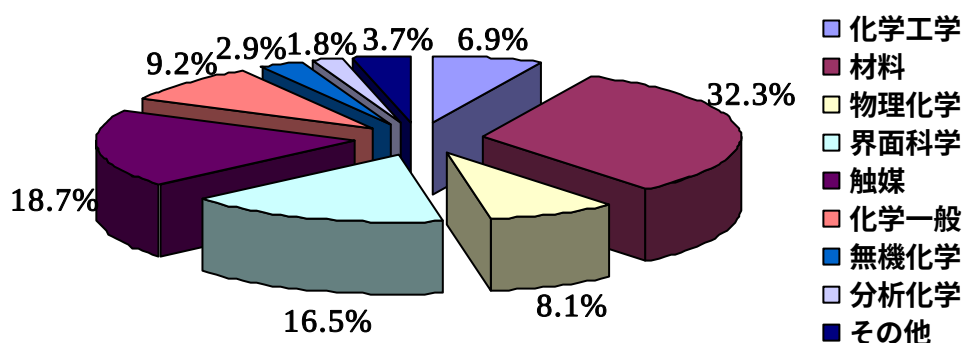


図 15 論文(1)の引用状況(引用数：620)

化学工学の論文がどのような学問領域で引用されているかを示すための一例として、論文番号(1)（表 1 参照）に関する引用分野を図 15 に示す。図中の数字は引用総数 620 中の引用割合である。化学工学分野での引用は 6.9%に過ぎないが、材料、物理化学、界面化学、触媒、化学一般での引用はそれぞれ 32.2%、8.1%、16.5%、18.7%、9.2%に及ぶ。これらの分野で引用が多いのは、本論文がマイクロ細孔分布評価法に関するものであり、多孔性材料を扱う学問領域全般にわたって引用されているためである。

表 1 の 37 報の論文の引用総数は 3,111 であり、これらの論文を引用している学問分野の割合を図 16 に示す。化学工学の論文は自らの分野での引用の割合が 41.2%と最も高いが、材料(15.4%)、生物工学(8.2%)、物理化学(7.7%)、界面科学(6.1%)、触媒(4.4%)の領域での引用がそれに続いている。これは、化学工学の研究領域の中で物性、分離膜、吸着、抽出、生物化学工学に関する論文の引用が多いためである。図 15 と図 16 を比べると、図 15 で取り上げた論文が生物工学とは無関係である点を考慮すれば、他の引用している分野はよく一致する。したがって、化学工学と関連の深い研究分野が、材料、生物工学、物理化学、界面科学、触媒等、多岐にわたっていると結論付けることができる。

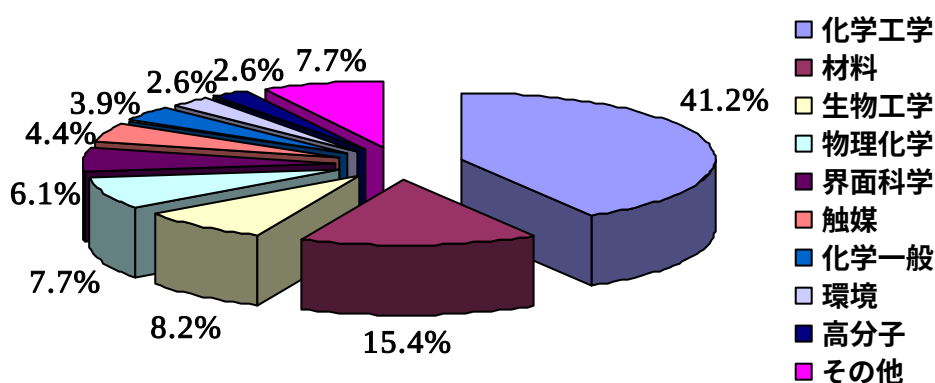


図 16 化学工学の論文 37 報の引用状況(総引用数：3,111)

過去に化学工学の学術誌に掲載された論文を例にとって、化学工学の研究成果がどのような分野で引用されているかを調査した。その結果、材料、生物工学、物理化学、界面科学、触媒の領域で化学工学の論文が引用されることが多く、化学工学と関連の深い分野であることが分かった。本調査は、化学工学の立場から、リサーチマップを理解するための補助資料に過ぎないが、このような調査が各学問分野で実施されれば、双方向のリサーチマップを完成させる一助となるであろう。リサーチマップを完成して、各学問分野の現状把握と融合分野形成の方向性を探索することにより、理学・工学全体の自然な連携を合理的に推進することも可能となるであろう。

3. リサーチマップによる工学体系の構造化に関する提案

21 世紀における我が国の科学技術に必要とされる戦略目標の一つは「知の構造化」である。「知の構造化」は、大規模化・複雑化が更に進行し続ける未来社会において、人類が直面するであろう諸問題を科学技術の力で解決するために不可欠であると言っても過言ではない。現代社会の環境・エネルギー問題に象徴されるように、人類が直面する問題の規模と複雑性はますます大きくなり、それを解決するために必要な知の範囲は個々の専門分野を越えて拡大している。したがって、個別の分野において細分化されていく知の深化と同時に知の構造化を図ることは、「知の統合化」を達成するための枠組みを提供することに繋がる。その結果、「知の構造化」・「知の統合化」は普遍的な体系性を具備した新し

い科学技術の概念となり得る。

科学・工学等の多様な分野、例えば、対象を特定の範囲に限定することによって進化し続けてきた学問分野、むしろ異種の対象から普遍性を求める学問形態を有する分野において、深化し分散した知識を共通認識する上で、「知の構造化」は必要不可欠である。それゆえに、学問分野の深化・知の膨張化と産業分野・領域の拡大および分業化の進展の現状を互いに認識し、かつ、工学系の全体像と科学技術の分野・領域の深化の両面を系統的、視覚的に捉える方法の提案は科学・工学系の分野を問わず極めて意義がある。その一例として、リサーチマップの作成を提案している。リサーチマップの作成に当って様々な手法が考えられるが、本委員会においては、美馬エンジン（自然言語処理エンジン）の解析手法を採用して、当該分野である化学工学を中心に関連すべき分野との相関性を定量的に示すとともに相関性の強い分野・領域間の境界領域を視覚化したものである。美馬エンジンの特長は、研究・開発の提案書及び報告書等の文献に記述されている内容を自然言語処理に基づいて解析し、文献間の関連性及び相関性とその相関強度を視覚的に捉えることができる点にある。さらに、学術雑誌に発表された論文を対象として、当該論文の引用数と引用学術領域との関連性を調査し、リサーチマップ作成の一助としている。

これらの解析手法を基に、当該専門分野である化学工学のみならず、化学・材料・応用化学の領域にわたる過去 20 年間の科学研究費補助金の報告書、過去 20 年間の NEDO 及び産学連携の報告要旨等の文献、過去 28 年間の化学工学会論文集（Journal of Chemical Engineering of Japan）を収用・調査している。美馬エンジン（自然言語処理エンジン）を用いて、キーワードの抽出、キーワード間の相関性及び学術分野の領域クラスター形成に関するリサーチマップを作成している。今回調査したデータは限定されており十分とは言えないが、政策誘導型の NEDO のトップ・ダウン的研究課題と科学研究費補助金によるボトム・アップ的研究課題の報告内容を基にリサーチマップを作成・分析した結果、両者から有機的に係り合いを持つ学術分野からなる学際領域が新たな学術分野へと階層的に発展する可能性があると言う共通した結論が得られたことから、以下のような点が明らかになり、ここに「リサーチマップによる工学体系の構造化に関する提案」を行うものである。

- （１）学術分野、産業分野の境界領域および分野間の係り合いをリサーチマップから視覚的に捉えることがある程度可能であることから、この手法は学術の融合化、工学の新体系の展開に効果的であると期待できる。
- （２）理学・工学を基盤とする各学協会組織において、それぞれの立場からリサーチマップを作成して、専門分野の現状把握と融合分野形成

の方向性を相互に探索することにより、理学・工学全体の自然な連携を合理的に推進し得る可能性がある。

- (3) 本報告に示された手法の可能性に鑑みて、今後、新しい研究分野の創生を促進して、技術革新の産業化を推進していく上で、関連性のある分野を単に学際領域とするのではなく、目的指向型の融合分野をスパイラル的にシステム化していくためのより普遍性の高い方法論およびその具体的手法の開発を進めるべきである。

【参考文献】

- 1) 材料技術の知識の構造化プロジェクト、
<http://mandala.t.u-tokyo.ac.jp/project.html>
- 2) ナノテク材料技術の知識の構造化プロジェクトにおけるオントロジーの利用、人工知能学会研究会資料(SIG-SW0-A303-03)
- 3) Mima, Hideki, Sofia Ananiadou, Katsumori Matsushima.(2004). Design and Implementation of a Terminology-based Literature Mining and Knowledge Structuring System, In Proceedings of the 3rd International Workshop on Computational Terminology (Computerm 2004) in 20th International Conference on Computational Linguistics, pp.83-86.
- 4) Mima, Hideki, Sofia Ananiadou, Goran Nenadic and Jun'ichi Tsujii. (2002). A Methodology for Terminology-based Knowledge Acquisition and Integration. In the Proceedings of 19th International Conference on Computational Linguistics (COLING2002), pp. 667-673.
- 5) NEDO20 年史「叡知の飛翔」(2002 年)
- 6) (財) 化学技術戦略推進機構・産学官連携推進分科会：報告書「産官学連携の実態調査と課題ー化学分野を中心としてー」(2001 年 12 月)
- 7) 化学工学会・産学連携委員会・産学連携を阻害する因子検討WG：報告書「産学官連携における阻害因子と活性化のための提言ー化学工学会の VISION 実現に向けてー」(2002 年 10 月)
- 8) 文部科学省ホームページ：http://www.mext.go.jp/a_menu/shinkou/sangaku/