

粉体工学

(応用編)

理学博士 川北公夫
理学博士 小石真純 共著
理学博士 種谷真一



かわきた 公夫

昭和8年3月 京都大学理学部化学科卒業。

京都大学理学部講師，岡山大学理学部教授，近畿大学理工学部教授。現在，法政大学工学部教授，明治大学講師，島根大学講師。理学博士。専攻は物理化学，表面化学，粉体工学〔粉体粉末冶金協会研究功績賞（1969），東京都科学技術功労賞授賞（1972）〕

こいし 真純

昭和32年3月 東京都立大学理学部化学科卒業。

菊池色素工業(株)，東京理科大学助手，同講師。現在，東京理科大学助教授，薬学部物理化学教室勤務。理学博士。専攻は界面科学，粉体物性，技術情報管理。

たね 真一

昭和30年3月 東京理科大学一部物理学科卒業。

現在，雪印乳業技術研究所勤務，基礎研究室主査，法政大学工学部非常勤講師。理学博士。専攻は応用物理，粉体工学。



粉体工学（応用編）

本書の定価はカバー
に表示してあります

1974年4月15日 初版発行

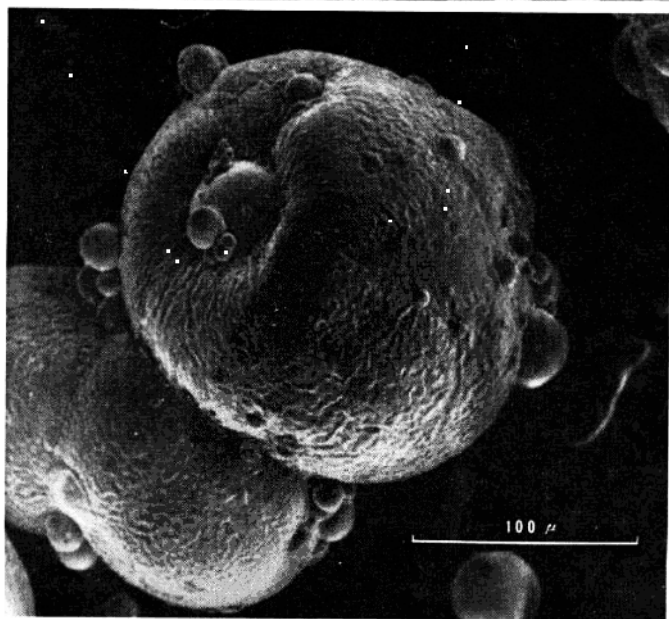
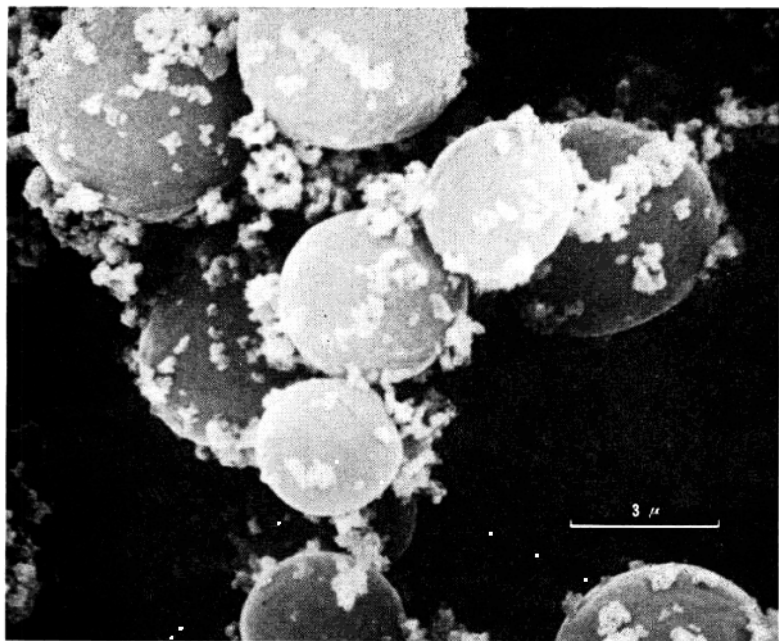
著者 川北公夫
小石真純
種谷真一
発行者 吉田全夫

槇書店

東京都中央区八重洲 5-5 (〒104)
電話 (03) 281-3608・8238 振替東京 29898

杜光舎印刷・中条製本

(15.2)



TiO₂

(上)

ナイロン-
二酸化チタ
ン系の粒子
混合状態
(走査型電
子顕微鏡に
よる)

(下)

全脂粉乳粒
子(走査型
電子顕微鏡
による)

21-051/4

序

近年エネルギーの問題が、政治的にも、経済的にも世界各国で論じられている。石油文明に対する反省の時機にきた感がしないでもない。もともと人類は遠く過去を想えば、火とコナを発見したことによって文明社会の基礎をつくってきた。

きたるべき次のエネルギーの開発は、地球上の石油の埋蔵量や公害問題からいって新しくクローズアップされた大きな問題である。粉体工学はこれにどのような寄与をするか、このことに一言すれば、たとえばオイルサンドにしる石炭のガス化にしる原子力の問題にしる、人類にとって大切な将来のエネルギーは不均一系に大きな関連をもち、粉体工学に密接に関係している。

石油エネルギーから他のエネルギーに将来移行されても、粉体工学は永遠の学問であろう。

今回丁度、基礎編を出してから一年後に粉体工学応用編を出版するにあたり、特に情報処理、技術の未来予測などもとり入れ、かつ各種単位操作については新しい進歩的方法をできるだけ各所に加筆した。

基礎編を読了された方々には理解され易いよう関連事項について、特別な考慮を払ったつもりである。

幸い本書が粉体を取扱う工業界において少しでも貢献することができれば著者らの望外の喜びである。

基礎編、応用編を通じ、種谷真一博士、小石真純博士の真摯な御協力と、槇書店の吉田、厚美両氏の御尽力に衷心から感謝の意を表します。

昭和49年2月7日誕生日に

川北公夫しるす

31365

参 考 文 献

- J. M. Dallavalle : *Micromeritics* (1948).
- J. M. Dallavalle, C. Orr : *Fine Particle Measurement* (1959).
- 久保輝一郎・水渡英二・中川有三・早川宗八郎：粉体・理論と応用，丸善株式会社(昭和38年)。
- 井伊谷鋼一編集：粉体工学ハンドブック，朝倉書店（昭和40年）。
- 井伊谷鋼一：化学工学通論，朝倉書店（昭和30年）。
- 粉体工学研究会編：粉体粒度測定法，養賢堂（1965）。
- 二口二郎・秦忠夫編：基礎食品化学ハンドブック，食品粉体論（水渡英二，種谷真一）朝倉書店（昭和41年）。
- 粉末冶金技術協会編：粉体の物性と測定検査，日刊工業（昭和39年）。
- 光武量：例題演習化学，産業図書（昭和39年）。
- CLYDE ORR, JR. : *Particulate Technology* (1966).
- 川北公夫，灰佐雅夫：化学本論，棋書店。
- 藤代亮一著：物理化学問題の解き方，東京化学同人。
- 広田鋼蔵，小泉正夫，飯塚義助：物理化学の問題と解法，朝倉書店。
- 実験化学講座：界面化学，丸善。
- 化学工学協会編：化学工学便覧，丸善（新版）。
- 久保輝一郎：メカノケミストリー概論，東京化学同人（昭和46年）。
- 近藤朝士：マイクロカプセル，日刊工業新聞社（昭和45年）。
- 三輪茂雄：粉粒体工学，朝倉書店（昭和47年）。

目 次

1 章 粉体に関する情報管理

1.1 革新的技術開発における技術 情報管理の必要性……………1	1.2.2 特定主題分析のとりえ方……………8
1.2 技術情報管理の具体的チェック ポイント……………6	1.2.3 技術情報管理における思考 課題のチェックポイント……………16
1.2.1 国内におけるセンサーラス 作成と使用実施例……………6	1.3 環境公害に関する技術情報管理… 21
	文 献……………28

2 章 乾 燥

2.1 平衡含水率および自由含水率…… 31	2.4 乾燥機の種類…………… 39
2.2 乾燥速度…………… 32	2.5 噴霧乾燥機…………… 43
2.3 熱風乾燥の気流方式と熱量…………… 36	文 献……………54

3 章 粉 碎

3.1 粉碎理論…………… 58	…………… 65
3.1.1 Rittinger の法則 …………… 59	3.2.2 Gaudin-Schuhmann の法則 …………… 65
3.1.2 Kick の法則 …………… 60	3.3 粉碎効率, 粉碎能…………… 65
3.1.3 Bond の法則 …………… 60	3.3.1 粉碎効率…………… 65
3.1.4 Lewis の一般式…………… 61	3.3.2 粉碎能…………… 66
3.1.5 Holmes の一般式…………… 61	3.4 粉碎操作…………… 69
3.1.6 田中の粉碎限界説…………… 62	3.5 粉碎機…………… 74
3.2 粒度分布法則…………… 64	文 献……………74
3.2.1 Rosin-Rammler の指数法則	

4 章 粉体の供給および貯蔵

4.1 貯蔵ホッパーの力学…………… 75	4.3 粉体の流動および供給装置…………… 84
4.2 サイロの設計…………… 79	4.3.1 粉体の流動…………… 84

4.4 粉体供給装置の制御	92 文 献	95
---------------	----------	----

5 章 粉体の輸送

5.1 水力輸送	97	5.2.1 粒子の平均速度	106
5.1.1 レオロジカルな性質	98	5.2.2 圧力損失式	109
5.1.2 管路流動	101	5.2.3 空気輸送機	112
5.1.3 輸送装置	103	文 献	115
5.2 空気輸送	105		

6 章 粉体の混合

6.1 混合理論	117	6.2.4 正立方体型混合機	127
6.1.1 混合度	118	6.2.5 円錐型混合機	127
6.1.2 混合過程および混合速度式	121	6.2.6 二重円錐型混合機	128
6.2 混合機	123	6.2.7 リボン型混合機	129
6.2.1 水平円筒型混合機	125	6.2.8 スクリュー混合機	130
6.2.2 傾斜円筒型混合機	125	文 献	131
6.2.3 V型混合機	126		

7 章 粉体の造粒

7.1 造粒の意義	133	7.7.1 転動式造粒機	144
7.2 造粒の目的	134	7.7.2 押出し式造粒機	146
7.3 造粒法の分類	135	7.7.3 圧縮式造粒機	147
7.4 粉体の造粒機構	137	7.7.4 破砕型造粒機	147
7.5 造粒物の強度	137	7.7.5 流動造粒装置	148
7.6 湿式造粒	141	文 献	148
7.7 造粒機（装置）各論	144		

8 章 粉体の表面改質

8.1 粉体の表面改質に対する考え方	151	8.1.2 粉体の表面改質に対する 考え方	153
8.1.1 粉体の表面改質ということ	151		

8.2 粉体の表面改質の具体例……………	155	8.4 マイクロカプセルと微小中空球体……………	189
8.3 粉体の界面物性とその測定の問題点……………	181	8.4.1 マイクロカプセルの定義およびその特徴……………	189
8.3.1 メカノケミカルな活性化にともなう粉体の呈色現象……………	182	8.4.2 微小中空球体の定義およびその特徴……………	195
8.3.2 粉体表面の活性度測定における呈色現象の活用……………	184	8.4.3 マイクロカプセルと微小中空球体の接点……………	198
8.3.3 粉体表面の性質を染料吸着実験からとらえる場合の問題点……………	186	文 献……………	201

9章 粒子の捕集および分離

9.1 集塵効率の一般的表示法……………	205	9.4 電気集塵……………	213
9.2 バグフィルター……………	206	9.4.1 集塵理論……………	216
9.3 サイクロン分離器……………	209	文 献……………	220

粉体工学用語……………	221
付表1 粒度測定用標準粉体……………	225
付表2 物理定数と単位……………	225
付表3 各種粉体に対する分散媒と分散剤……………	226
付表4 粒子および粒子分散物の特性……………	228
付表5 ギリシャ文字……………	230
索 引……………	231

1 章 粉体に関する情報管理

粉体のとらえ方における多面性はすでに多くの研究者によって議論されてきた。その整理方法に対する提案はいくつか知られているが、具体的なことはあとで述べることにし、まず粉体に対したときの把握の仕方を考えてみよう。

粉体に対しては、思考として“あるべき”あるいは“あるがまま”の議論が必要である。つまり、粉体の研究の方向および粉体の研究の事実を明確に知ることである。このことは、粉体にとりくむときの態度の把握度に関係し、研究の完成への道の遠近にも関連してくることになる。

研究という一つの行動をおこすときの指針がはっきりすれば、能力という一つの壁はあるが、努力によって向上の可能性が多いといえる。元来、技術情報の管理の必要性は上述したことの意味の迅速な把握にあると思われる。自己の研究手法が決定し、ある程度の経験が積み重ねられると、技術情報の収集の必要性が余り強調されなくなるが、これは議論の余地のあるところである。

ここでは、粉体という特定主題に限定することなく技術情報の管理について説明してみよう。

1.1 革新的技術開発における技術情報管理の必要性

1970年代の技術開発の方向性は、知識集約型産業構造を中心にして決定される。たとえば、産構審中間答申¹⁾に発表されている内容についてその概要をとらえてみると、つぎのような具体的方向性が指摘される。

期待しうる主要産業*

(1)研究開発集約産業（電子計算機、航空機、電気自動車、産業ロボット、原子力関連、集積回路、ファインケミカル、新規合成化学、新金属、特殊陶磁器、海洋開発など）

* 産構審中間答申中の各論第1章（産業構造政策）中の第1節(3)参照。

(2)高度組立産業（通信機械、事務機械、数値制御工作機械、公害防止機器、家庭用大型暖冷房器具、教育機器、工業生産住宅、自動倉庫、大型建設機械、高級プラントなど）

(3)ファッション型産業（高級衣類、高級家具、住宅用調度品、電気音響器具、電子楽器など）

4)知識産業（情報処理サービス、情報提供サービス、ビデオ産業等教育関係、ソフトウェア、システムエンジニアリング、コンサルティングなど）

つぎに、産業技術政策の新展開についてみると、たとえば以下の指摘がなされている。

● 産業技術発展への新機軸

- (1) 産業技術の無公害化・安全化（産業技術の総見なおし、緊急技術開発計画による当面の公害防止技術の開発、クローズドシステム化のための技術開発、安全化技術の開発・普及）
- (2) 社会開発への先端産業技術の適用（大規模革新的システムの開発、社会開発関連技術の開発）
- (3) 産業の知識集約化への主導（研究集約産業の発展を主導する技術の開発、産業全般の知識集約化に不可欠な技術）
- (4) 未踏分野への挑戦（未踏研究集団制度の新設、基礎的研究開発の充実）

● 技術管理政策の推進

- (1) テクノロジー・アセスメントの実施

● 研究開発のための体制の強化

- (1) 大型プロジェクト制度の推進
- (2) 試験研究機関のあり方
- (3) 民間技術開発の育成と活用
- (4) 知的資源の開発

上述の概要から理解されるように、70年代の産業技術の課題はきわめて大きな目標をもっている。したがって、その目標達成のためには十分な知識集約化と要素集約度の分析が必要であろう。技術情報の管理の必要性は明確に認識されるところである。

最近、技術の自主開発および技術の導入などを中心に、革新的技術開発に関する調査報告が発表された²⁾。この報告の場合、調査の対象は、①わが国において戦後、開発もしくは導入された技術であること、②その技術が社会・経済に大きい影響を及ぼしていること、③技術的にみてかなりの高度さを有してい

ること，を基準として選出されている。

調査で回答を得た技術は，化学系（45件）：化学・繊維・医薬，農業；機械系（31件）：電気製品・その他機械製品；その他（6件）の業種である。

調査の内容(1)―(7)は，その概要を示すと，(1)開発着手前の需要動向および要請の把握，(2)開発規模および開発期間，(3)研究開発のパターン，(4)当該技術の世界最初の企業化時期および企業国，(5)研究開発遂行上の諸問題，(6)特許出願および技術提供件数……基本的特許および周辺特許出願件数，対外国出願および国内出願件数，国内技術提供件数および技術輸出件数など，(7)その他（当該

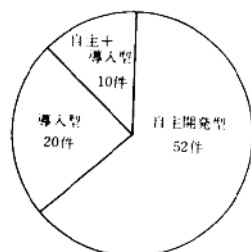


図 1-1 研究開発パターン別技術数

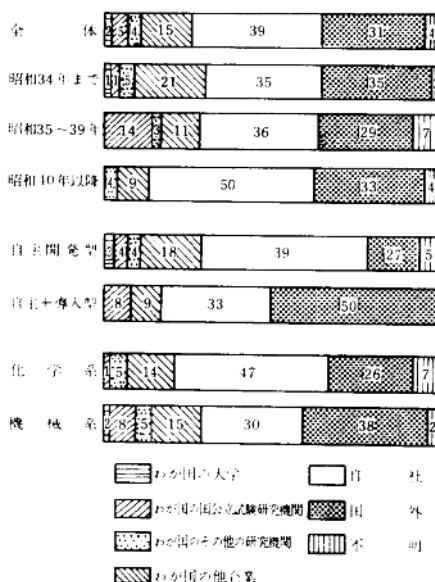


図 1-2 科学技術情報の所在

製品の5年毎の売上げ高, 当該技術の副次的効果, 国への希望事項など) である。

図1・1は研究開発パターン別技術数である。自主開発型の多いことがわかる。なお、**自主開発型**は、基本、応用、開発研究段階とも自社開発した形態および基礎、応用研究段階は自社開発、開発研究段階は一部自社開発、一部技術導入した形態である。**自主開発+導入型**は、基礎、応用研究段階は自社開発、開発研究段階はほとんど、もしくは全面的に技術導入した形態および基礎、応用研究はほとんど自社で行なわず、開発研究は自社開発もしくは、一部自社開発、一部技術導入によった形態である。また、**導入型**は基礎、応用研究は自社で行なわず、開発研究もほとんど、もしくは全面的に技術導入によった形態である。

つぎに、研究開発遂行上の諸問題をみると、図1・2に示すように、ケースによって異なる。これによると国内であったものが65%、国外であったものが31

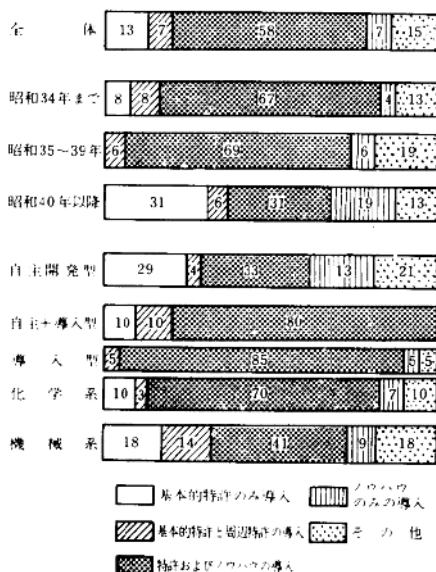


図1・3 技術導入のパターン

%となっている。

国内では、自社というのが最も多く全体の39%、他企業15%、大学・国公立試験研究機関・その他の研究機関というのはきわめて少ない。

実用化時期別にみると、昭和40年以降実用化した技術の場合、科学技術情報源が自社であったという割合が、他時期に比べて多い。これは企業内での技術力が増大してきていることを示すものであるといえる。情報取得の難易は、研究開発パターン別にみると、当然のことながら自主開発型のものほど困難度が高まっている。開発に関連したことであるが、情報管理における主要課題である“技術導入のパターンと導入の理由”について、図1・3～1・4に示す。

この図からわかるように、特許管理の重要性が認識されよう。

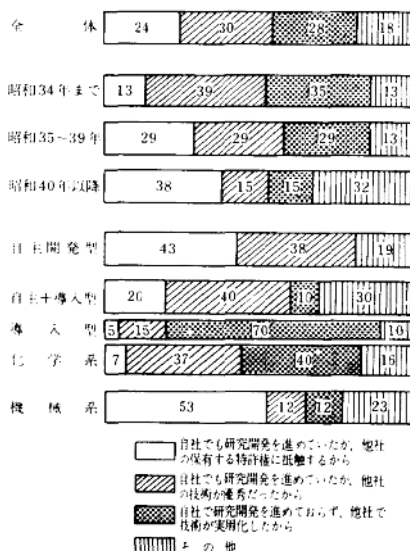


図 1・4 技術導入の理由

以上、革新的技術開発における情報管理の必要性を中心に説明したが、要はこのような情報管理を具体的に行なうにはどうすべきかであろう。たとえば、

企業内では連日多くの社内情報が発生するので、この管理も含めて対処する必要がでてくる。一般には、電子計算機的应用とシソーラスの活用による情報検索システムが活用されるが、ある特定範囲の情報管理になると、「カードセクターを用いた自然語による情報管理」が用いられている実例もある³⁾。

1.2 技術情報管理の具体的チェックポイント

非常に高い立場からみた場合における情報管理の必要性は、すでに1.1で指摘した。そこで、ここではぐっと現実的な問題に焦点を合わせて具体的な議論を試みよう。

“研究者、技術者のための技術情報”を、いかに管理していくかという問題は主として情報システムのなかで取り扱われている。

情報システムは大別すると、①情報収集システム、②情報処理システム、③情報検索システム、④情報提供システムなどのサブシステムから構成されている。

受入られた情報は収集システムより処理システムまたは検索システムに送られる。要求があれば提供システムを経てそれぞれのシステムから選出される。なお、処理システムと検索システムは相互に関連し、作用がある。

現在のところ技術情報管理における主要なサブシステムは情報検索システムである。いわゆる IR (Information Retrieval) System のことで、その中心はなんといってもシソーラス (Thesaurus) である⁴⁾。シソーラスは、指標とするための自然語に規制を与えて作成された索引語辞書である。

情報検索システム内でのシソーラスの位置づけは、すでに国家的情報システム (NIST: National Information System for Science and Technology の略記号。System と Science の S は1つの S で代表させてある) においてなされている。このことからシソーラスの重要性が理解される⁴⁾。

1.2.1 国内におけるシソーラス作成と使用実施例

シソーラスの作成には参考シソーラスの選択が重要である。市販のシソーラスには、たとえば “Thesaurus of Copper Terminology”, “Thesaurus of

Paint and Allied Technology”あるいは“Thesaurus of Textile Engineering Terms”などのような専門化の進んだものがある。これに対して、“Thesaurus of Engineering Terms”のように一般的なシソーラスも出ている。

国内におけるシソーラスの活用は、すでに多くの企業でなされているが、ここではいくつかの実施例について示そう。表 1・1 は企業 5 社の実施例である⁵⁾。表からわかるように、シソーラスを作成し編成する場合の考え方は、以下のように分けることが可能である。

表 1・1 シソーラスの比較表

	③ 重工業	④ レイヨン	⑤ 電機	① 自動車工業	② 電気
使用目的	社内発生情報および社内に入ってくる情報の一部の管理に使用	社内技術研究報告書の管理に使用	社内発生の情報および社外発生技術情報の機械検索 必要情報の管理に使用	技術情報管理(自社資料と外部よりの資料)	
編成体系をつくる上で参考にしたシソーラス	The Thesaurus of ASTIA Descriptors	なし	EJC シソーラス(頻度分析により抽出した語が EJC シソーラスにある場合、採択)	EJC シソーラス(そのまま使用はできない)	EJC シソーラス(そのまま使用)
ディスクリプタの原典	便覧、用語辞典	技術研究報告書の標題に含まれている語	技術研究報告書に出てくる語(頻度測定を行なって選定)	辞書、便覧、年用語集、便覧など	
ディスクリプタの数	4,087語	Conceptual key-word 2,000語	約 3,000語	約 3,000語(秘密のディスクリプタを除く)	17,816語(USE 参照語 5,554語)
当シソーラスに基づいて、キーワードに付けた文献数	128,690件	3,000件	約 24,000件	約 40,000件	約 10,000件(技術情報センタに入ったもののみ)
コード	数字およびアルファベット	自然語のままでカタカナとする	英語	英語	英語
使用範囲	全社	繊維加工研究所全社		オール①グループ(大型電子計算機のソフトウェアを開発する意欲をもつ企業)	全社

* 同義語について代表するキーワードを1つ定め、これをディスクリプタ(または標準キーワード)とよぶ。その他の同義語キーワードを非ディスクリプタ(または非標準キーワード)とよぶ。

① 既存のソーラスをそのまま活用しようとする考え方 (T電気)

② ある程度手を加えて対象とする分野や必要とする細密さに適合できるように、修正をしてゆくとする考え方 (M重工業)

③ 既存のソーラスの利用を一応は考慮してみたが、結局、適合性を欠くと結論づけて、新たに自社用のソーラスをつくることに方針を切りかえざるをえないと判断し、かなり独創的に編成を行なおうとする考え方 (T自動車工業, M電機)

④ はじめから既存のソーラスを相手とせず、独立独歩、社内用ソーラスを編成してゆく考え方 (Mレイヨン)

なお、ディスクリプタの原典および数のとらえ方は、ソーラス編成上の最も大きな課題であるから、表1・1中の各企業の方針は大いに参考になるであろう。

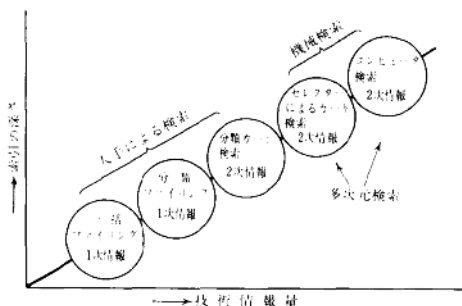


図 1・5 技術情報量と情報検索手段の関係

いま技術情報量と情報検索手段との関係を調べてみると⁹⁾、図1・5のようになり、技術情報量の増大につれて人手による検索より機械検索に移行していくことがわかる。

ソーラスは主として機械検索に利用されるが、人手検索の場合にも十分に活用されるべきものであり、したがってディスクリプタの数の限定が重要になる。上記した原典と数における課題の意味は以上のことで理解されたと思う。

1.2.2 特定主題分析のとらえ方

技術情報の管理にはソーラスが最も便利であるが、このことを理解するベースになるのが特定主題分析の思想である。この意味において以下にそのとらえ方の具体例を説明する。

主題分析の定義は、「抄録や索引などをつくるために記事の要点を抜き出す作業で、その結果を自然語の文章で書き表わせば抄録となり、所定の記号で表記して所定の順序に配列すれば索引となる」ものである⁷⁾。

したがって、主題分析にはまず分析しようとする文献の内容、意義などがよく理解できなくてはならない。主題分析の対象として最も簡単なのは対象となる文献の標題である。以下に標題の内容を中心とした議論を進めてみよう⁸⁾。

一般に、技術文献標題に含まれる情報内容は、コンテンツ・シートあるいは Chemical Title, KWIC, KWOC などの索引における重要な問題であり、多くの課題が含まれている。たとえば、文献8)では情報検索のため実際に摘出された1つまたは多数の索引概念(便宜的なもの)を情報標題中のキーワードと比較し、そしてキーワードが索引概念と、(A)同一(文章論的変形をも考慮して)であるか、(B)同意語および他の関連タームであるか、(C)AおよびBのどち

表 1-2 標題の解析

誌 名	化学関係以外の文献					化学関係の文献				
	A	B	C	%C	標準偏差 σ_n (%)	A	B	C	%C	標準偏差 σ_n (%)
Applied Science and Technology Index	30	26	61	51.2	4.6	34	7	10	19.6	5.6
British Technology Index	84	26	60	37.5	3.8	37	19	36	39.1	5.1
Engineering Index	39	30	33	32.4	4.6	23	20	12	21.9	5.5
Mass Spectrometry Bulletin	94	79	179	50.9	2.7	—	—	—	—	—

表 1-3 雑誌の特徴

誌 名	化学関係以外の文献				化学関係の文献			
	%化学 関係標 題	%索引 キーワード 数/1文 献	%化学 関係以 外の標 題	%索引 キーワード 数/1文 献	%化学 関係標 題	%索引 キーワード 数/1文 献	%化学 関係以 外の標 題	%索引 キーワード 数/1文 献
Applied Science and Technology Index	37.8	51	2.1	36	—	20	1.5	13
British Technology Index	33.3	38	2.7	34	—	39	3.1	7
Engineering Index	33.3	32	1.7	44**	—	22	1.8	44**
Mass Spectrometry Bulletin	—	51	3.8	—	—	—	—	—

(注) * 表 1-2 参照。

** 英語文献のみを対象として統計を取った。

5: ランダムに選んだ文献に直接関係のあるキーワードだけではなく、もっと広い事象を確認できるキーワードを含む標題割合。