

米国技術体系の変化と技術連関

林 倬 史

(1) はじめに

技術体系の変化を検証していく場合にはいくつかの手法が考えられる。例えば、各産業ごとの産出高の推移から技術体系の変化過程を検証していくこともその一つとなろう。しかしながら、この場合には、鉄鋼・自動車、等の従来型産業が産出高に依然、極めて大きな影響力を有しているために、これら産業の技術体系も過大に評価されてしまう危険性を有している。より有効な他の手法としては、特許件数の推移を技術分野別に整理することによって技術開発動向を明らかにし、そこから技術体系の変化過程を検証してみることが挙げられる。この方法だと、確かにその時々で戦略的に開発された工業技術体系が反映されうることになる。しかしながら、特許取得の基件的要件は、発明・発見を通して作り出された具体的創作物に盛り込まれている当技術に対して付与されることにある。したがって、特許に反映されている技術分野はモノ作り技術としてのハードウェア技術が中心となり、たとえソフトウェア技術¹⁾がそこで重要な役割を果たしていたとしてもそこには適切に反映されては来ない。まして、情報通信技術とコンピュータ・サイエンスの融合によって創出されてくる新たな技術体系を規定してくるソフトウェア技術の多くはそこから捨象されてしまうことになる。その結果、技術開発力を特許の動向から分析していった場合、モノ作りとしてのハードウェア技術が過度に強調されてしまうことになる。

そこで本論文では、自然科学分野における発表論文のキーワードと技術分類から米国における研究開発動向を吟味し、技術体系の変化を確認していきたい。

対象論文は、JICST（日本科学技術情報センター）のデータベース [JOIS] から米国発行論文を検索していく。

(2) 米国発行論文でみた技術体系の変化と技術連関

1981年と1992年に米国で発行された論文件数をキーワード数の多い順に並べてみると、表1

1) 「ソフトウェア技術」をここではとりあえず、OS(オペレーティング・システム)を含むすべてのプログラム・プログラミングの技術・プログラム言語・コンピュータ利用の方法や技術、と規定しておく。

表1 米国発行主要技術分野別科学技術論文数とソフト化比較

500件以上に限定(1981年・1992年比較)

番号	1981年		1992年	
	技術分野	論文数	技術分野	論文数
1	計算機利用	5998	計算機利用	9294
2	機械の性質(金属学)	3970	機械の性質(金属学)	5930
3	固体素子	3752	計算機シミュレーション	5460
4	超小型回路	2360	固体素子	3624
5	集積回路	2283	熱処理	3282
6	熱処理	2013	セラミック	3036
7	計算機シミュレーション	1915	化合物半導体	2954
8	内燃期間	1830	超小型回路	2806
9	レーザ	1816	集積回路	2765
10	セラミック	1785	レーザ	2725
11	フィルタ	1655	内燃機関	2715
12	自動制御	1605	画像処理	2324
13	通信方式	1589	塑性加工	2307
14	磁気的性質(金属学)	1509	光学素子	2216
15	光学機械	1460	通信方式	2182
16	デジタル計算機	1455	光学機械	2171
17	演算プロセッサ	1442	フィルタ	2154
18	システム設計	1405	磁気的性質(金属学)	2125
19	マイクロプロセッサ	1361	結晶成長	2105
20	記憶装置	1196	小型化	2064
21	電気的性質(金属学)	1174	電気的性質(金属学)	2033
22	光電素子	1170	通信網	1751
23	光学素子	1165	トランジスタ	1699
24	通信網	1133	薄膜成長	1692
25	計算制御	1110	自動制御	1563
26	画像処理	1099	最適化手法	1499
27	制御装置	1068	システム同定	1481
28	最適化	1022	エピタクシー	1478
29	トランジスタ	981	ロボット	1445
30	イオンビーム	968	システム設計	1439
31	LSI	918	最適化	1390
32	ダイオード	908	最適制御	1333
33	太陽電池	888	デジタル計算機	1311
34	マイクロコンピュータ	886	半導体薄膜	1309
35	表示装置	871	データベース	1266
36	データベース	838	CAD	1184
37	高合金鋼	832	パターン認識	1170
38	超小型回路技術	830	半導体集積回路	1165
39	炉	825	計算機アーキテクチャー	1151
40	回路設計	809	計算機方式	1151
41	結晶成長	795	制御装置	1123
42	増幅器	766	並列処理	1119
43	ステンレス合金	759	溶接	1050
44	CAD	728	焼きなまし	1048

番号	1981年		1992年		
45	データ通信	718	雑音	1031	
46	工具磨耗	710	光ファイバー	1011	
47	塑性加工	706	増幅器	984	
48	雑音	686	記憶装置	980	
49	論理回路	683	計算機網	971	
50	光ファイバ	670	磁性材料	962	
51	磁性材料	667	ダイオード	955	
52	気体レーザ	644	データ通信	950	
53	コンピュータグラフィックス	644	神経回路網	935	
54	微細構造	631	システムモデル	932	
55	アンテナ	620	アルミニウム合金	918	
56	薄膜成長	617	回路設計	914	
57	デジタル通信	584	半導体レーザ	912	
58	最適化手法	582	デジタル通信	874	
59	焼き鈍し	582	LSI	839	
60	計算機システム開発	572	金属間化合物	833	
61	電子ビーム	569	コンピュータグラフィックス	814	
62	パターン認識	554	圧延	791	
63	ニッケル合金	553	超小型回路技術	789	
64	アルミニウム合金	550	金属薄膜	789	
65	最適制御	533	高合金網	771	
66	システム解析	520	炉	770	
67	超LSI	505	超LSI	749	
68			CIM	748	
69	合計	79042	100	ニッケル合金	746
70	ソフト中心技術分野	23958	30.3	気体レーザ	722
71				液晶	702
72				測定精度	698
73				ステンレス合金	687
74				応力歪特性	672
75				イオンビーム	669
76				プロセス制御	665
77				エッチング	650
78				人工知能	641
79				エキスパートシステム	640
80				専用プロセッサ	640
81				光通信	635
82				アンテナ	624
83				適応制御	618
84				移動通信	608
85				計算制御	604
86				光検出器	590
87				システム解析	587
88				電子ビーム	577
89				焼結	568
90				分散処理	565

番号	1981年			1992年		
91				電氣量制御	565	
92				パーソナルコンピュータ	563	
93				光導波路	547	
94				マルチプロセッサシステム	544	
95				変復調器	542	
96				計算機システム開発	532	
97				表示装置	526	
98				論理回路	524	
99				プレス加工	519	
				合 計	137281	100
				ソフト中心技術分野	51099	37.2

出所：菰田文男氏（埼玉大学経済学部教授）提供資料より作成。

のようになる（ただし、論文数500件以上に限定）。1980年代における日本のキーワード数別発表論文数のトップは、ハードウェア技術としての「機械的性質（金属学）」であったが²⁾、米国ではすでに1981年の段階で、ソフトウェア技術としての「計算機利用」がトップの項目となっている。しかも、「明らかにソフトウェア中心の技術」³⁾と見なされる項目が、1981年と1992年との比較において明らかに上昇してきている。すなわち、同技術分野の論文合計数は、各年それぞれ23,958と51,099であったのに対して、500件以上の技術分野の論文合計数がそれぞれ79,042と137,281であった。したがって、81年と92年の「ソフトウェア中心の技術分野」の比率は、30.3%から37.2%へと上昇してきたことを意味する。ただし、この数値は厳密には正確とはいえない。なぜならば、次節でも指摘しているように、表1の米国発行論文には多くの海外からの投稿論文が含まれているために、米国独自の研究開発動向を直接的に反映しているとは必ずしもいえないからである。特に、「ハードウェア技術」関連の研究論文に占める海外からの投稿論文の占める比率は、「ソフトウェア技術」関連の研究論文に占める同比率よりも高い傾向にある⁴⁾。したがって、米国発行論文から海外投稿論文を除外し、米国投稿論文に限定した場合には、表1に示されている「ソフトウェア」比率は、実際にはさらに数パーセント高くなるはずである。

いずれにせよ表1に示されている米国の研究開発動向から見る限り、研究開発の戦略的課題が「ハードウェア技術」から「ソフトウェア技術」への転換がなされてきたことが指摘されう

2) 林 倬史「技術体系の変化とパラダイム・シフト」『情報通信と技術連関分析』（菰田文男・西山賢一・林 倬史・金子秀共著、中央経済社、1995年、第3章）

3) ここで「明らかにソフトウェア中心の技術」とみなしている技術項目には、脚注1で規定した項目に、「制御系技術」・「通信光学系技術」の一部を含めた。

4) 例えば、表1において、「計算機利用」について論文数の多い、「機械的性質（金属）」は「ハードウェア技術」の体系に属するが、1994年に同項目上位1,000件のうち、米国内投稿論文は約58%であった。

表2 米国発行「計算機利用」論文国籍別内訳

(1981年・1994年発行順1000件)

1981年			1994年		
1	米 国	742	1	米 国	620
2	日 本	30	2	日 本	57
3	カナダ	21	3	カナダ	40
4	ドイツ	20	4	ドイツ	39
5	イタリー	20	5	イタリー	32
6	英 国	18	6	英 国	31
7	オランダ	17	7	フランス	25
8	オーストラリア	9	8	台 湾	15
9	フランス	8	9	オーストラリア	13
10	ベルギー	8	10	スウェーデン	12
11	フィンランド	8	11	ロシア	8
12	ロシア	6	12	韓 国	7
13	インド	5	13	スペイン	7
14	ノルウエー	5	14	中 国	6
15	スウェーデン	4	15	オランダ	6
16	イスラエル	3	16	ブラジル	5
17	オーストラリア	3	17	イスラエル	5
18	スイス	2	18	ユーゴスラビア	3
19	アイルランド	2	19	ポルトガル	3
20	台 湾	1	20	香 港	3
21	スペイン	1	21	ノルウエー	3
22	ハンガリー	1	22	オーストリー	2
23	デンマーク	1	23	インド	2
24	ブラジル	1	24	ベルギー	2
25	ポーランド	1	25	スイス	2
26	サウジアラビア	1	26	フテンランド	2
27	南アフリカ	1	27	サウジアラビア	2
28	香 港	1	28	ブリガリア	2
29	ナイジェリア	1	29	シンガポール	1
			30	イスラエル	1
			31	ハンガリー	1
			32	マレーシア	1
			33	デンマーク	1
			34	アルゼンチン	1
			35	ポーランド	1
			36	南アフリカ	1
			37	ニュージーランド	1
			38	チェコスロバキア	1
	不 明	27		不 明	36
	合 計	1000		合 計	1000

注(1) 共同論文は筆頭執筆者の国籍により分類

注(2) 国籍不明の個人名論文は原則として米国投稿論文に分類

注(3) 米国籍以外の人が米国で投稿した場合は原則として米国投稿論文

出所：表2～表6まで [JOIS] 検索により作成

る。すでに別論文において「ハードウェア技術」間の技術連関を検証してみたので⁵⁾、本論文では、技術体系の変化を、キーワードとして最多の研究論文数となっている「計算機利用」論文の中身を分析することによって吟味していく。換言すれば、「ソフトウェア技術」論文としての「計算機利用」論文の技術的中身が、1981年と1994年とでは、他のどのような技術分野と連関しているのかを分析することによって、「ソフトウェア技術」と他の技術分野との連関の実態と違いを吟味していくことを狙いとしている。

(3) 米国発行論文と米国内投稿論文の違い

米国発行論文を検討していく場合に留意する必要がある点は、米国発行論文数に占める米国内投稿論文数と海外からの投稿論文数の区別である。そこで本論文において取り扱う「計算機利用」をキーワードとする米国発行論文数⁶⁾のうち、それぞれどれくらいのシェアを占めているのかを見てみよう。表2は、1981年と1994年の米国発行論文のうち、「計算機利用」をキーワードとしている論文数上位1000件を投稿者の国籍から分類したものである。ただし、この場合の国籍は、基本的には(1)どこの国から投稿したかに依拠している。例えば、日本の大学に所属する日本人研究者が米国スタンフォード大学に研究員として派遣されているときに、同大学研究員として投稿した場合には、当論文は米国籍扱いとなり、日本から日本の所属大学名で投稿した場合には日本籍となる。また(2)数名の国籍の異なる研究者が共同論文として発表している場合には、筆頭者の国籍で分類している。さらに、(3)個人名発表の論文で所属機関と国籍が明示されていない場合には、原則的に米国籍に参入させ、それ以外は不明扱いとしてある。最後に、(4)データベース自体のミスによって判明しないケースも不明扱いとしている。しかしながら、以上のうち(3)と(4)は全体の数パーセント(9%以内)の範囲に治まっている。

以上の諸点を踏まえうえて、1981年と1994年に発行された「計算機利用」をキーワードとしている米国発行論文の国籍別内訳を見てみよう。まず、1981年の米国発行論文上位1000件のうち、米国内投稿論文数は742件であったのに対して、1994年の同投稿論文数は620件となっている。したがって、1981年には米国発行論文に占める米国内投稿論文のシェアは74.2%であったのに対して、1994年には同シェアは62.0%に低下していることを意味する。他方、海外から

5) 拙論文「露光技術の技術連関」(前掲書、第4章)参照。「技術連関」に関しては、前掲書のほかに、菰田文男「情報集約的品種少量生産時代における技術情報分析の課題と方法」(『社会科学論集』埼玉大学経済学会、第81号、1994年1月)に論点が集約されている。

6) 厳密には、「計算機利用」をキーワードとすると同時に、「計算機利用」を上位概念とする各技術分野の論文数もこれに含まれる。なお、以下のキーワードも「計算機利用」の下位概念として、同論部にカウントされる。

「CAD/CAE/CAL/CALCAM/CIM/CMI・計算機シミュレーション・計算機診断・計算機発生・計算制御・コンピュータグラフィックス・自然言語処理」(JICST 科学技術用語シソーラス)。

の投稿論文は、それぞれ23.1%から34.4%へと上昇している（不明はそれぞれ2.7%と3.6%）。こうした「計算機利用」をキーワードとする米国発行論文数に占める米国内投稿論文数のシェアの低下がどのような意味を持っているのかについては別項にゆずるとして、ここでは、米国発行論文数から直接的に米国の科学技術力なり、米国の技術体系の変化を論じてしまうことの危険性を確認できれば十分である。以下、米国発行論文のうち米国内投稿論文のみを取り上げて分析していく。

（４）「計算機利用」論文にみる「ソフトウェア技術」とその他の技術分野との連関

いわゆるモノ作り技術を中心とした従来型の体系をハードウェア技術の体系とすれば、ここでの技術体系は各種のハード技術分野間の連関をベースにして成立することになる。ここでは、1980年代以降、コンピュータの発達が多様な技術分野への適用を通して、「計算機利用」というソフトウェア技術が「ハードウェア技術」をはじめその他の技術体系との間にどのような連関を有してきたのかを中心に検証していく。

表3は、1981年と1994年に発行された米国発行論文（米国内投稿論文に限定）のうち、「計算機利用」をキーワードとする論文（各1000件）を関連技術分野別に分類し直したものである。1981年の「計算機利用」をキーワードとする米国発行論文は、6067件であった。そのうちの発行順上位1000件に限定し、さらに海外からの投稿論文を除外した残りの米国内投稿論文は742件となる。これらの米国内投稿論文がそれぞれ所属する中心的技術分野数は第2階層で見た場合には106分野、そして第3・4階層で見た場合には460であった。ただし、同一論文が二つ以上の中心的技術分野を有する場合も存在するために、結果的に合計論文数は1097件に及ぶ。

それに対して、1994年に同国発行の「計算機利用」キーワード論文は、9335件であった⁷⁾。そのうち、発行順上位1000件のうち、米国内投稿論文は620件であった。これら620件の論文が所属する中心的技術分野数は、第2階層で92分野、第3・4階層で見た場合には396技術分野に渡る。そして複数の中心的技術分野を有する論文も同じく存在するため、論文合計数は810件となっている。

つぎに、1981年と1994年のこれら「計算機利用」論文がどのような技術分野と関連しているのかを階層別に吟味してみよう。以下、本論文で用いられている技術分野名コードは、『JICST 科学技術分類表 1993年版』に依拠している。

7) 「計算機利用」をキーワードおよび上位概念とする米国発行論文数の推移は以下の通りである。
1981年：6,067, 1985年：9,977, 1990年：10,439, 1993年：10,439, 1994年：9,335, なお、'94年の数値は95年7月現在の[JOIS]検索による。

表3-1 米国内投稿論文「計算機利用」論文技術分野別内訳
(第2階層別第3・4階層技術分野数と論文件数)

(1981年)			
	技術分野	技術分野数	論文件数
	(第2階層レベル)	(第3・4階層レベル)	
1	A D (計測学・計測機器)	2	8
2	B A (物理学一般・基礎)	3	3
3	B B (振動・音響)	1	1
4	B C (流体力学)	2	2
5	B D (電磁気学・光学)	8	10
6	B H (原子・分子)	2	2
7	B J (流体論・プラズマ・放電)	2	7
8	B K (物質の構造・放射線物理)	4	4
9	B L (機械的性質と熱物性)	2	2
10	B M (電子物性・磁性・光物性)	2	3
11	C A (化学一般)	1	1
12	C B (物理化学)	2	2
13	C C (分析化学・分離法)	14	35
14	C F (有機化学)	1	1
15	C G (高分子化学)	2	2
16	D B (宇宙船・天体物理学)	1	1
17	D C (地球物理学)	14	53
18	C E (地質学)	4	4
19	E A (生物科学一般)	1	6
20	E B (生化学)	3	4
21	E J (動物学)	2	2
22	E L (生体工学)	6	46
23	F B (農業)	3	7
24	F C (植物の栽培)	1	1
25	F D (動物飼養)	2	2
26	F F (林業)	3	5
27	F J (食品・同工業)	5	9
28	F K (発酵生産)	1	1
29	G B (予防医学)	1	1
30	G C (医学総論)	1	1
31	G J (循環系医学)	2	35
32	G M (泌尿生殖器医学)	1	1
33	G N (神経科学)	1	1
34	G W (薬理学)	2	2
35	H B (材料試験)	2	13
36	H C (材料力学)	3	3
37	H D (構造力学)	2	7
38	H E (岩盤力学)	1	3
39	I A (システム・制御一般)	2	4
40	I B (システム工学)	1	1
41	I C (制御工学)	4	5

(1981年)			
	技術分野	技術分野数	論文件数
	(第2階層レベル)	(第3・4階層レベル)	
42	J A (情報工学一般)	1	1
43	J B (情報工学基礎理論)	1	1
44	J C (計算機方式・ハードウェア)	8	15
45	J D (計算機ソフトウェア)	7	16
46	J E (計算機ソフトウェア)	11	124
47	K A (経営工学)	12	34
48	K B (生産工学)	12	20
49	L A (エネルギー工学)	2	2
50	L B (エネルギー資源・開発)	2	3
51	L C (エネルギー変換・貯蔵)	1	2
52	L D (エネルギー消費・省エネ)	2	4
53	M A (原子力一般)	2	5
54	M B (放射線管理)	3	7
55	M C (線源・放射線・同位体利用)	2	3
56	M D (原子炉工学・各燃料)	17	40
57	N A (電気工学一般)	5	12
58	N B (電力工学)	17	37
59	N C (電子工学)	17	40
60	N D (通信工学)	16	37
61	P A (熱工学)	4	8
62	P B (熱機関)	4	11
63	P C (空気調和)	6	23
64	P D (冷凍)	2	2
65	Q A (機械工学一般)	5	15
66	Q B (機械要素・潤滑)	2	2
67	Q C (工作・機械の組立)	6	13
68	Q D (流体機械)	3	4
69	Q E (産業機械)	3	20
70	Q F (精密機械)	1	3
71	Q G (自動車)	16	28
72	Q H (鉄道車両)	1	1
73	Q J (船舶)	6	12
74	Q K (飛翔体)	8	18
75	R A (建設工学一般)	6	9
76	R B (建設工学)	7	14
77	R C (土木工学)	11	23
78	R D (都市工学)	3	3
79	S A (環境工学一般)	1	2
80	S B (環境汚染)	11	16
81	S C (環境衛生)	7	7
82	T A (運輸交通一般)	2	10
83	T B (道路輸送)	5	20
84	T C (鉄道輸送)	1	3

(1981年)			
	技術分野	技術分野数	論文件数
	(第2階層レベル)	(第3・4階層レベル)	
85	TD (水上輸送)	1	2
86	TE (航空輸送)	1	1
87	UA (鉱山工学)	24	40
88	WA (金属工学一般)	3	5
89	WB (金属学)	1	1
90	WC (金属加工技術)	7	7
91	WD (金属精錬・製錬)	1	1
92	XB (化学装置・プラント)	1	1
93	XC (化学プロセス)	4	5
94	XD (単位操作・装置)	4	4
95	XE (化学的操作・装置)	4	5
96	YA (化学工業)	1	1
97	YB (無機化学工業)	2	3
98	YC (窯業)	2	2
99	YE (燃料・爆薬工業)	8	9
100	YF (石油工業)	2	2
101	YH (ゴム・プラスチック)	10	28
102	YJ (色材工業)	1	1
103	YL (紙・パルプ工業)	2	2
104	YM (繊維工業)	1	1
105	ZA (写真印刷工業)	2	3
106	ZB (日用品・雑貨工業)	2	2
	合計	460	1097

表3-2 米国内投稿論文「計算機利用」論文技術分野別内訳
(第2階層別第3・4階層技術分野数と論文件数)

(1994年)			
	技術分野	技術分野数	論文件数
	(第2階層レベル)	(第3・4階層レベル)	
1	AD (計測学・計測機器)	7	12
2	BA (物理学一般・基礎)	5	8
3	BB (振動・音響)	3	5
4	BC (流体力学)	10	20
5	BD (電磁気学・光学)	8	9
6	BE (素粒子・核物理学)	2	6
7	BF (原子・分子)	2	3
8	BG (原子核物理学)	1	1
9	BH (原子・分子)	9	13
10	BJ (流体論・プラズマ・放電)	12	25
11	BK (物質の構造・放射線物理)	15	20

(1994年)			
	技術分野	技術分野数	論文件数
	(第2階層レベル)	(第3・4階層レベル)	
12	BL (機械的性質と熱物性)	5	7
13	BM (電子物性・磁性・光物性)	15	15
14	CB (物理化学)	12	21
15	CC (分析化学・分離法)	7	7
16	CE (錯体化学)	1	1
17	CF (有機化学)	1	1
18	CG (高分子化学)	6	21
19	DB (宇宙船・天体物理学)	4	7
20	DC (地球物理学)	19	37
21	DD (地球化学)	1	2
22	DE (地質学)	6	8
23	EB (生化学)	7	16
24	EC (遺伝学/進化論)	1	1
25	ED (生体防御/免疫学)	2	3
26	EF (細胞学)	1	1
27	EJ (動物学)	1	1
28	EK (放射線生物学)	1	1
29	EL (生体工学)	1	1
30	FB (農業)	3	3
31	FC (植物の栽培)	1	1
32	FD (動物飼養)	2	2
33	FE (獣医学)	1	1
34	FF (林業)	1	1
35	FJ (食品・同工業)	2	2
36	FK (発酵生産)	1	1
37	GV (薬物学)	2	2
38	GW (薬理学)	1	1
39	HA (工学一般)	1	1
40	HB (材料試験)	2	6
41	HC (材料力学)	3	3
42	HD (構造力学)	1	1
43	IA (システム・制御一般)	6	10
44	IB (システム工学)	1	9
45	IC (制御工学)	5	17
46	JB (情報工学基礎理論)	4	8
47	JC (計算機方式・ハードウェア)	9	18
48	JD (計算機ソフトウェア)	3	15
49	JE (計算機利用技術)	12	148
50	KA (経営工学)	3	3
51	KB (生産工学)	5	10
52	LA (エネルギー工学)	1	1
53	MB (放射線管理)	5	10
54	MC (線源・放射線・同位体利用)	2	8

(1994年)			
	技術分野	技術分野数	論文件数
	(第2階層レベル)	(第3・4階層レベル)	
55	MD (原子炉工学・核燃料)	11	17
56	NA (電気工学一般)	2	2
57	NB (電力工学)	14	25
58	NC (電子工学)	17	38
59	ND (通信工学)	7	9
60	PA (熱工学)	1	2
61	PB (熱機関)	7	13
62	PC (空気調和)	3	3
63	QA (機械工学一般)	3	4
64	QB (機械要素・潤滑)	2	3
65	QC (工作・機械の組立)	5	7
66	QD (流体機械)	4	4
67	QE (産業機械)	2	3
68	QG (自動車)	8	10
69	QJ (船舶)	2	2
70	QK (飛翔体)	10	32
71	RA (建設工学一般)	1	1
72	RB (建設工学)	1	1
73	RC (土木工学)	2	2
74	SB (環境汚染)	1	2
75	SC (環境衛生)	1	1
76	TA (運輸交通一般)	1	1
77	TC (鉄道輸送)	1	1
78	TE (航空輸送)	1	1
79	UA (鉱山工学)	3	3
80	WA (金属工学一般)	1	1
81	WB (金属学)	3	3
82	WC (金属加工技術)	13	18
83	XC (化学プロセス)	2	4
84	XD (単位操作・装置)	4	4
85	XE (化学的操作・装置)	4	15
86	YB (無機化学工業)	1	1
87	YC (窯業)	1	1
88	YE (燃料・爆薬工業)	3	6
89	YH (ゴム・プラスチック)	6	6
90	YJ (色材工業)	3	3
91	YL (紙・パルプ工業)	4	5
92	ZA (写真印刷工業)	1	1
	合 計	396	810

表4 「計算機利用」論文技術分野別内訳（第1階層）

(1981年, 1994年比較)

		1981年		1994年	
1	J (情報工業)	157	14.3	J (情報工業)	189 23.3
2	N (電気工学)	126	11.5	B (物理学)	132 16.3
3	Q (機械工学)	116	10.6	N (電気工学)	74 9.1
4	D (宇宙/地球科学)	58	5.3	Q (機械工学)	65 8
5	E (生物科学)	58	5.3	D (宇宙/地球科学)	54 6.7
6	M (原子力工学)	55	5	C (基礎化学)	51 6.3
7	L (経営工学)	54	4.9	I (システム/制御工学)	36 4.4
8	Y (科学工学)	49	4.5	M (原子力工学)	35 4.3
9	R (建設工学)	49	4.5	E (生物科学)	24 3
10	P (熱工学/応用熱力学)	44	4	X (化学工学)	23 2.8
11	C (基礎化学)	41	3.7	W (金属工学)	22 2.7
12	G (医学)	41	3.7	Y (科学工学)	22 2.7
13	U (鉱山工学)	40	3.6	P (熱工学/応用熱力学)	18 2.2
14	T (運輸交通工学)	36	3.1	K (経営工学)	13 1.6
15	B (物理学)	34	3.1	A (化学技術一般領域)	12 1.5
16	H (工学一般領域)	26	2.4	H (工学一般領域)	11 1.4
17	S (環境工学)	25	2.3	F (農林水産)	11 1.4
18	F (農林水産)	25	2.3	R (建設工学)	4 0.5
19	X (化学工学)	15	1.4	G (医学)	3 0.4
20	W (金属工学)	14	1.3	S (環境工学)	3 0.4
21	L (エネルギー工学)	11	1	T (運輸交通工学)	3 0.4
22	I (システム/制御工学)	10	0.9	U (鉱山工学)	3 0.4
23	A (化学技術一般領域)	8	0.7	L (エネルギー工学)	1 -
24	Z (その他の工業)	5	0.5	Z (その他の工業)	1 -
合計		1097	100	合計	810 100

(a) 第1階層上の特質

表4に示されているように、第一階層から見た場合、81年には中心的に関連していた技術分野数は24であり、そのうちもっとも多い技術分野は、J (情報工学) の157で、81年論文数合計の14.3%を占めている。つづいて、N (電気工学) の126が全体の11.5%を占めて2番目となっている。3番目がQ (機械工学) の116で10.6%、4番目が、D (宇宙・地球科学) とE (生物科学) でそれぞれ、58、5.3%の順となっている。以下、M (原子力工学)、K (経営工学)、Y (化学工学)、R (建設工学)、P (熱工学・応用熱力学) の順に上位10分野を構成している。

つぎに、1994年の「計算機利用」論文を、同じく技術分野の第一階層から整理してみよう。94年に同論文が関連していた技術分野数 (第一階層) は24であったが、そのうち、もっとも多く関連していた技術分野は、81年と同じくJ (情報工学) の189で、論文全体 (810件) の23.3%を占めるに至っている。つづいて2番目がB (物理学) の132、全体の16.3%、3番目がN

(電気工学, 74:9.1%), 4番目がQ(機械工学:65, 8.0%), 5番目がD(宇宙・地球科学, 54:6.7%), 6番目がC(基礎化学, 51:6.3%)の順となっている。以下, 7位から10位までは, I(システム・制御工学), M(原子力工学), E(生物科学), X(化学工学)となっている。

81年と94年比較でみた技術分野の第一階層別分類による特徴的な点は, J(情報工学)の比率がさらに9ポイント上昇し, 最多中心関連技術分野としてのウエイトをいっそう高めていることにある。そして第二に, 81年にはわずか34, シェア3.1%で全体の15番目に位置していたB(物理学)が, 94年には132で, 16.3%を占め第二位に急上昇している点である。そこでつぎに, こうした傾向を技術分野の第2階層から吟味してみよう。

(b) 第2階層の特質

表3に示されていたように, 81年に第2階層でみた中心的関連技術分野数は106であった。つぎにそれらの技術分野を論文件数の多い順に示したのが表5である。81年に, 最大の中心的技術分野であったJE(計算機利用技術)⁸⁾の論文数は124で全体の11.3%を占めている。つづいて, DC(地球物理学:4.8%), EL(生体工学:4.2%), UA(鉱山工学:3.6%), NC(電子工学:3.6%), MD(原子炉工学・核燃料:3.6%), UD(通信工学:3.4%), NB(電力工学:3.4%), GJ(循環系医学:3.2%), CC(分析化学・分離法:3.2%), KA(経営工学:3.1%), 以上の11分野が全体の3%以上のシェアを有する分野である。

それに対して, 94年の第2階層でみた関連技術分野数は92であった(表3参照)。そのうち, 分野別ランキングのトップは, 81年と同じくJE(計算機利用技術)で論文数148件, 全体の18.3%を占めている。つづいて, NC(電子工学:38, 4.6%), DC(地球物理学:37, 4.6%), Q(飛翔体:32, 4.0%)の3分野が4%台, さらに, NB(電力工学:25, 3.1%), BJ(流体力学:20, 2.5%), 以上が上位10分野となっている。

第2階層から兩年の技術分野を比較すると, もっとも大きな相違点は, 7ポイントの上昇を示したJE(計算機利用技術)が, 2番目以下の工学系の技術分野を大きく上回り, 突出した位置を占めてきた点にある。こうした傾向は, 81年には, JEが2番目のDC(地球物理学)よりも6.5ポイント上回っていたのに対して, 94年には, 2番目のNC(電子工学)を13.7ポイント上回るまでに至っている点に見いだされる。2点目に注目すべき相違点は, 第1階層のB(物理学)に属するBJ(流体・プラズマ・放電), BK(物質の構造・放射線物理), BC(流体力学), BM(電子物性・磁性・光物性), BH(原子・分子)が, 一挙に件数とシェアを上昇させている点である。このB(物理学)の第2階層分野の増大傾向が, (あくまで「計算機利

8) JE(計算機利用技術)は, 計算機を利用する技術, プログラム, プログラムパッケージ, システム, アルゴリズムおよび理論を含む。

表 5-1 「計算機利用」論文技術分野別順位 (第 2 階層)

(論文件数: シェア)

	1981年	論文件数	%	1994年	論文件数	%
1	J E (計算機利用技術)	124	11.3	J E (計算機利用技術)	148	18.3
2	D C (地球物理学)	53	4.8	N C (電子工学)	38	4.6
3	E L (生体工学)	46	4.2	D C (地球物理学)	37	4.6
4	U A (鉱山工学)	40	3.6	Q K (飛翔体)	32	4.0
5	N C (電子工学)	40	3.6	N B (電力工学)	25	3.1
6	M D (原子炉工学)	40	3.6	B J (流体論・プラズマ・放電)	25	3.1
7	N D (通信工学)	37	3.4	C G (高分子化学)	21	2.6
8	N B (電力工学)	37	3.4	C B (物理化学)	21	2.6
9	G J (循環系医学)	35	3.2	B K (物質の構造・放射線物理)	20	2.5
10	C C (分析化学・分離法)	35	3.2	B C (流体力学)	20	2.5
11	K A (経営工学)	34	3.1	W C (金属加工技術)	18	2.2
12	Y H (ゴム・プラスチック工場)	28	2.6	J C (計算機方式・ハードウェア)	18	2.2
13	Q G (自動車)	28	2.6	M D (原子炉工学)	17	2.1
14	P C (空気調和)	23	2.1	I C (制御工学)	17	2.1
15	R C (土木工学)	22	2.0	X E (化学的操作・装置)	15	1.9
16	T B (道路輸送)	20	1.8	J D (計算機ソフトウェア)	15	1.9
17	Q E (産業機械)	20	1.8	B M (電子物性・磁性・光物性)	15	1.9
18	K B (生産工学)	20	1.8	P B (熱機関)	13	1.6
19	Q K (飛翔体)	18	1.6	B H (原子・分子)	13	1.6
20	S B (環境汚染)	16	1.5	A D (計測学・同機器)	12	1.5
21	J D (計算機ソフトウェア)	16	1.5	Q G (自動車)	10	1.2
22	Q A (機械工学一般)	15	1.4	M G (放射線管理)	10	1.2
23	J C (計算機方式・ハードウェア)	15	1.4	K B (生産工学)	10	1.2
24	R B (建設工学)	14	1.3	I A (システム・制御工学一般)	10	1.2
25	Q C (工作・機械の組立)	13	1.2	N D (通信工学)	9	1.1
26	H B (材料試験)	13	1.2	I B (システム工学)	9	1.1
27	Q J (船舶)	12	1.1	B D (電磁気学・光学)	9	1.1
28	N A (電気工学一般)	12	1.1	M C (線源・放射線・同位体利用)	8	1.0
29	P B (熱機関)	11	1.0	J B (情報工学基礎理論)	8	1.0
30	T A (運輸交通一般)	10	0.9	E B (生化学)	8	1.0
31	B D (電磁気学・光学)	10	0.9	D E (地質学)	8	1.0
32	Y E (燃料・爆薬工業)	9	0.8	B A (物理学一般・基礎)	8	1.0
33	R A (建設工学一般)	9	0.8	Q C (工作・機械組立)	7	0.9
34	F J (食品・同工業)	9	0.8	D B (宇宙線・天体物理学)	7	0.9
35	P A (熱工学)	8	0.7	C C (分析化学・分離法)	7	0.9
36	A D (計測学・計測機器)	8	0.7	B L (機械的性質・熱物性)	7	0.9
37	W C (金属加工技術)	7	0.6	Y E (燃料・爆薬工業)	6	0.7
38	S C (環境衛生)	7	0.6	H B (材料試験)	6	0.7
39	M B (放射線管理)	7	0.6	B E (素粒子・核物理実験技術)	6	0.7
40	H D (構造力学)	7	0.6	Y L (紙・パルプ工業)	5	0.6
41	F B (農業)	7	0.6	B B (振動・音響)	5	0.6
42	B J (流体論・プラズマ・放電)	7	0.6	その他	107	13.2
43	E A (生物科学一般)	6	0.5			
44	X E (化学的操作・装置)	5	0.5	合 計	810	100

	1981年	論文件数	%	1994年	論文件数	%
45	X C (化学プロセス)	5	0.5			
46	WA (金属工学一般)	5	0.5			
47	MA (原子力一般)	5	0.5			
48	I C (制御工学)	5	0.5			
49	F F (林業)	5	0.5			
50	その他	119	10.8			
	合計	1097	100			

用」関連論文の枠内における傾向である点に留意する必要があるにせよ、(1) JE (計算機利用技術) の高度化と一般化につれて、他の技術分野以上に技術連関的に上昇してきたのか、(2) それとも別の技術分野との技術連関から増加してきたのか、あるいは、(3) 「物理学」技術分野独自の新たな技術的可能性の高まりを反映しているのかについてここでは明言し得ない。しかしながら、半導体製造技術、特に露光装置との技術連関上、X線、レーザー、シンクロトロン放射光、回路パターン形成、等の技術がB (物理学) の上記第2階層と密接に関連していることはすでに述べた⁹⁾。したがって、DRAMやMPUの次世代技術の開発が進むにつれて、同時に「計算機利用技術」と各種物理学関連技術との連関もいっそう深化してくる可能性を示唆しているようにも思われる。

(c) 第3・4階層上の特質

最後に、これら「計算機利用」論文が属する中心的技術分野群を下位概念の第3・4階層から検討してみよう。この第3・4階層から見た関連技術分野数は81年が460、94年が396であった(表3参照)。ここでは、そのうち、5件以上の論文と関連している技術分野を多い順にリストアップしてみる。表6に示されているように、1981年に「計算機利用」論文ともっとも件数的に関連の深かった技術分野は、JE4000X (図形・画像処理) であり、39件であった。つぎに、2番目に多い技術分野はEL3020C (生体計測) で38件、つづいてGJ02000V (循環系の診断) 35件、JE11000H (計算機シミュレーション) 20件、JE10000A (CAD・CAM) 19件、QE05020H (太陽エネルギー利用機器) 18件、YH04050Y (射出成形) 14件、KA03010Q (オペレーションリサーチ一般) 13件、JE8000Z (人工知能) 13件、HB02030F (放射線検査/超音波検査等の非破壊試験) 12件、以上が1981年の上位10分野となっている。

それに対して、1994年には、同論文ともっとも件数的に関連の深かった技術分野は、同じくJE04011 (図形・画像処理) の67件であり、1981年より28件の増加であった。つづく2番目は、23件のJEO06000L (自然言語処理) となっており、81年より12件の増加であった。3番目は、JE10000A (CAD・CAM) の18件、4番目はJE07000S (文字・図形・音声認識、等のパターン認識) の16件、5番目はJD02010R (計算機システム開発) で13件、以上が94年の上位5件

表6 「計算機利用」技術分野別内訳(第3・4階層)
(米国内投稿論文:各1000件)

1981年		1994年		
1	J E 04000 X (図形/画像処理)	39	J E 04040 I (図形/画像処理一般)	67
2	E L 03020 C (生体計測)	38	J E 06000 L (自然語処理)	23
3	G J 02000 V (循環系診断)	35	J E 10000 A (CAD/CAM)	18
4	J E 11000 H (計算機シミュレーション)	20	J E 07000 S (パターン認識)	16
5	D E 11000 H (CAD/CAM)	19	J D 02010 R (計算機システム開発)	13
6	Q E 05020 H (太陽エネルギー利用機器)	18	X E 04010 W (燃焼一般)	9
7	Y H 04050 Y (射出成形)	14	J E 08000 Z (人工知能)	9
8	K A 03010 Q (OR一般)	13	I B 03000 G (人間機械系)	9
9	J E 08000 Z (人工知能)	13	D C 04060 Z (磁気圏)	8
10	H B 02030 F (被破壊試験)	12	C G 02031 G (高分子の立体構造)	8
11	J E 06000 L (自然語処理)	11	Q K 03021 G (シミュレーター)	7
12	D C 05050 V (気象力学/地球流体力学)	11	Q K 02010 T (航空機の空気力学)	7
13	D C 05020 O (天気予報)	10	Q K 02030 P (宇宙飛行体の空気力学)	6
14	P C 02020 F (暖房)	9 9	N C 03161 C (集積回路一般)	6
15	D C 05070 R (大規模擾乱/大気重力波)	8	M C 01020 V (線源/照射装置)	6
16	C C 02020 S (分析機器)	8	J C 02010 O (デジタル計算機方式)	6
17	T B 01030 K (交通管制/規制)	7	B J 02050 T (プラズマ波/同不安定性)	6
18	T B 01010 O (道路輸送/サービス)	7	W C 02030 X (圧粉/焼結)	5
19	Q A 01080 H (機械設計)	7	G K 04030 D (飛翔体ぎ装)	5
20	N C 04021 I (フィルター一般)	7	N C 05070 B (論理回路)	5
21	N A 05040 O (プリント回路)	7	M B 05000 Y (放射性廃棄物)	5
22	M D 06020 H (水冷却炉の安全性)	7	I C 04013 A (ロボットの設計/製造)	5
23	M D 02030 Q (原子炉熱力学)	7	E B 03020 Y (分子構造)	5
24	A D 07070 F (電磁気的量の計測法/機器)	7	B H 09030 O (原子/分子のクラスター)	5
25	T A 01020 W (都市交通)	6	B E 02010 M (加速器一般/理論)	5
26	P C 02010 U (空気調和装置)	6		
27	K B 01000 U (生産工学一般)	6		
28	J D 02010 R (計算機システム開発)	6		
29	E A 03020 V (生物物理的研究法)	6		
30	D C 05010 D (気象学一般)	6		
31	B J 02080 O (プラズマ装置/核融合装置)	6		
32	R C 02050 O (地形データ処理)	5		
33	Q A 01097 H (生産工程)	5		
34	N D 11010 A (データ通信)	5		
35	N D 08040 S (宇宙通信)	5		
36	N B 02000 E (電力系統一般)	5		
37	M D 04040 P (原子炉冷却系)	5		
38	I J E 4000 C (その他計算機利用技術)	5		
39	J E 13000 V (医用情報処理)	5		
40	J C 03000 K (計算機網)	5		
41	H D 02000 E (構造動力学)	5		
42	C C 03012 W (分光分析)	5		

注: 論文件数5件以上の技術分野(第3・4階層)に限定

であり、同時に10件以上の技術分野である。以下、6番目がXE0410W（燃焼一般）、JE08000Z（人工知能）、IB03000G（人間機械系：人間工学系システム工学）でそれぞれ9件、9・10番目がDC04060Z（磁気圏）とCG02031G（高分子の立体構造：高分子の電子構造・分子運動含む）で各8件となっている。

以上が第3・4階層でみたキーワード「計算機利用」論文の上位技術分野別内訳である。この階層レベルでの特徴点の第一は、計算機利用技術の分類に位置するJE04010I（図形・画像処理）が81年に比べてその比重を高めている点である。すなわち同分野は、兩年ともトップに位置しながらも、論文総合計に占めるシェアを81年の3.6%から94年の8.3%へと急速に高めている点にある。しかも、94年には上位5番目までの技術分野がすべてJE（計算機利用技術）を上位概念とする「ソフトウェア技術」で占められている。

（5）まとめ

本論文では、米国の技術体系ないし科学技術開発の趨勢を科学技術論文のキーワード分析をてがかりに検討してみた。その結果、以下の諸点が指摘されるように思われる。

まず第一に、米国発行論文数に占めるいわゆる「ソフトウェア技術」中心の論文数が次第にウエイトを高めてきていること。しかしながら第二に、米国発行論文数と米国内投稿論文数とは等しくないため、米国独自の技術体系を明確にするためには、米国発行論文数から海外投稿論文数を除外する必要があること。1994年の例でみると、キーワード「計算機利用」の米国発行論文数のうち、米国内投稿論文数は約60%に低下すること。そして第三に、81年と94年の「計算機利用」論文に関する技術分野を階層別に検証してみると、コンピュータ利用技術に関する研究の進展は、1981年と1994年との比較において、「ハードウェア技術」分野をはじめとする諸技術分野との適用研究以上に、「ソフトウェア技術」分野独自の研究に次第に重点移行してきていること。

その際、特に注目すべき点は、マルチメディア関連技術のなかでもその中核的位置を占めている「図形・画像処理」を中心に、「自然言語処理」、「CAD」、「パターン認識」、「計算機システム開発」等の技術分野が急速にウエイトを高めてきている点である。換言すれば、PC(Personal Computer)技術と情報通信技術の高度化を通して、ユーザー・フレンドリーな形で画像・音声の相互通信を促進する研究が中核となってきたともいえる。

最後に、第4点目は、「ソフトウェア技術」体系が「ハードウェア技術」体系との相互規定性を保持しながらも、後者からの相対的独自化と自立化を急速に高めてきていること、このことであるように思われる。この点については、別稿にて明らかにしたい。

付記：本論稿は、文部省科研費・総合A「情報ネットワーク化の社会的展開過程における産業構造の変容の研究」（代表：野口宏）の成果である。