

戦後わが国における高炉用コークスに関する研究開発の変遷

解説

美 浦 義 明*

Progress of R & D on Metallurgical Cokemaking in Japan after the World War II

Yoshiaki MIURA

1. はじめに

第2次世界大戦後、わが国の経済発展の原動力となつたのは鉄鋼業の復興、発展であり、これを支えた技術的主要因の一つにコークス製造技術の進歩をあげることができる。今や国際的に政治、経済、社会の各面でパラダイムの転換が行われているが、鉄鋼産業が今後ともわが国の基幹産業であることに変わりはない。ここでは戦後約40年間、各時期におけるコークスに関連する研究開

発を振り返り、今後の展開方向を探つてみたい。また、最近の研究開発の動向の一端についてもトピック的にふれる。

2. 戦後わが国鉄鋼業における生産要因の推移およびコークス関連研究課題

2.1 わが国鉄鋼業の特色

わが国の鉄鋼業は、戦後の経済、産業の発展に極めて大きな貢献をしてきており、つぎのように性格づけられ

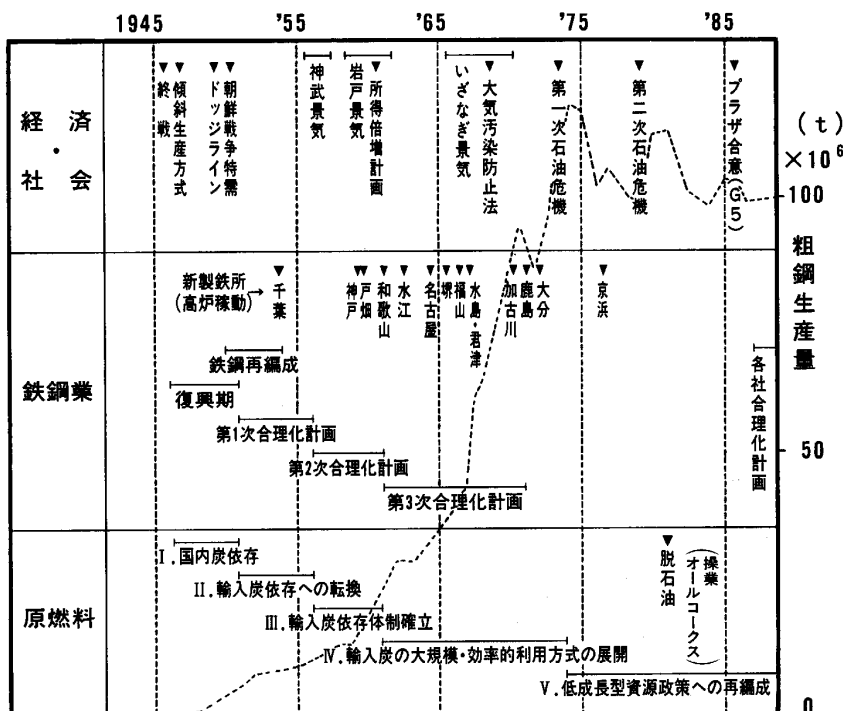


図1 戦後日本鉄鋼業の発展経過

昭和63年11月 公害資源研究所第21回研究講演会にて発表
 昭和63年12月27日受付 (Received Dec. 27, 1988) (依頼解説)

* 新日鉄化学(株)君津製造所 工博 (Kimitsu Works, Nippon Steel Chemical, 1 Kimitsu Kimitsu 299-11)

Key words: progress of R & D in Japan; blast furnace coke; metallurgical coke; effective utilization of domestic coal; evaluation of caking and coking properties; coal blending using many kinds of coal; evaluation of coke quality; pretreating coal charge; application of non-or slightly caking coal.

る¹⁾。

- 1) 基幹産業 (産業のコメ)
- 2) 装置産業 (大型化メリット)
- 3) 資源多消費産業 (膨大な輸入原燃料消費)
- 4) 輸送産業 (膨大な物流コスト)
- 5) 輸出産業 (世界の鉄鋼供給基地)
- 6) 市況産業 (世界の景気変動に敏感; 王者か乞食かと言われた)
- 7) 知識集約化指向産業 (複合経営, リストラクチャリング)

以上の特徴は, つぎにのべる戦後日本鉄鋼業の発展経過にもよく現れている。

2.2 戦後わが国鉄鋼業の発展経過と原燃料事情

鉄鋼一貫体制における製鉄工程は, 本質的に原燃料の品質, 量的確保や処理技術に強く規定される性格を持っているが, 戦後のわが国における場合にはとくに典型的に現れているといえよう。図1には, わが国鉄鋼業の発展経過の概要と原燃料事情との関係をI~V期²⁾にわけて示した。図2~3は, 主要国の粗鋼生産高, ならびに

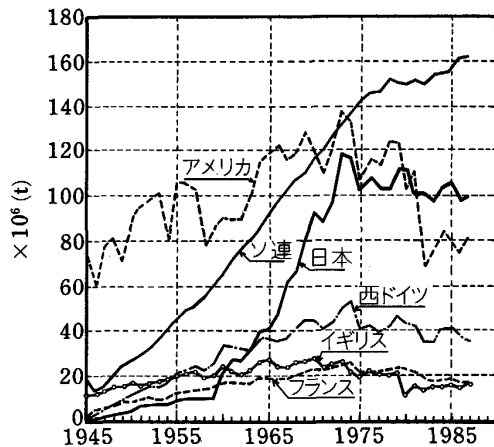


図 2 主要国の粗鋼生産高推移

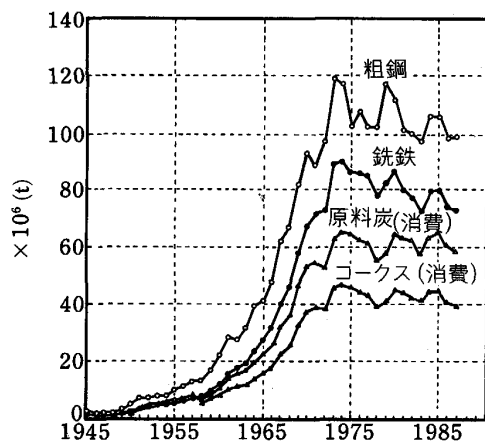


図 3 わが国鉄鋼生産量の推移

わが国における粗鋼, 鉄鉄生産量および原料炭, コークス消費量の推移を, また図4はわが国における使用原料炭のソース別割合を示したものである。これらの結果からわかるように, わが国の鉄鋼生産は, 戦後とくに1960~1970年にかけての高度成長期に驚異的な発展を遂げ, 第一次石油危機の1973年における1億2千万tをピークとして, 最近では1億tのレベルで推移している。このために必要な原料石炭の使用量は, 6000万t/年, コークスは4000万t/年のレベルに達し, しかも石炭の大半を世界各国からの輸入炭に依存し, 輸入炭依存率は年を追うごとに増大し, 1987年には99%に達している。

2.3 原燃料事情とコークス関連主要研究課題

図1に示した原燃料事情に対応したI~V期ごとに, 主な研究開発課題をまとめて表1に示す。これらの各課題は, 便宜上つぎのように四つの大分類で考えることが

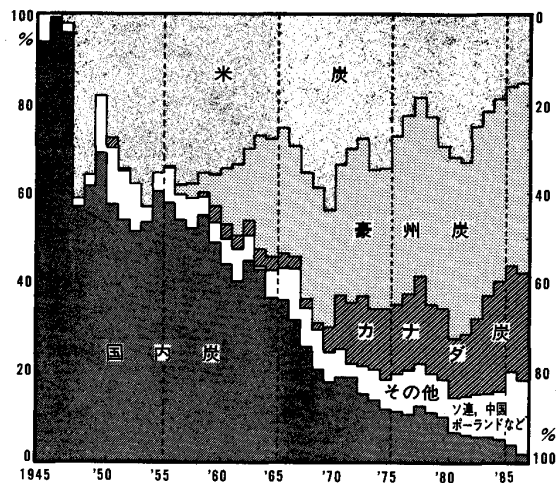


図 4 原料石炭のソース別割合

表 1 コークス関連研究開発課題

期	時代区分	主要課題
I	国内炭依存 (終戦~1950)	1. 国内炭からの優良コークス製造技術
II	輸入炭依存への転換 (1951~1955)	1. 輸入炭(米炭)の配合, 評価 2. 石炭, コークスの品質, 品質試験法 3. 国内炭からの優良コークス製造技術
III	輸入炭依存体制確立 (1956~1960)	1. 原料炭確保, 低コスト化技術 2. 国内炭利用コークス製造技術 3. 石炭組織学の利用
IV	輸入炭の大規模, 効率的利用方式の展開 (1961~1973)	1. 大型コークス炉操業技術 2. 装入炭事前処理技術 3. 成型コークス製造技術 4. 国内炭活用研究 (有沢調査団答申 1962) 5. コークス品質評価 6. 公害対策技術
V	低成長型資源対策への再編成 (1974以降)	1. 高イナータ炭の評価, 利用 2. 装入炭事前処理技術の実用化 3. 大型高炉用コークスの品質, 造り込み 4. 大型コークス炉操業技術 5. 省エネルギー技術 6. 一般炭活用技術 (成型コークスを含む) 7. 公害防止設備の実用化, 普及 8. コークス炉炉命延長技術

できよう。

1) 原料石炭の有効利用

資源輸入国という立場から、またすでにのべたように製鉄工程の本質的特性からみても、原料石炭の有効利用が一貫して重要課題であった。具体的にはつぎの3項目である。

- (1) 国内炭の有効利用技術
- (2) 石炭の粘結性、コークス化性評価法
- (3) 多銘柄配合法(配合理論)

2) 大型高炉用コークスの安定供給

高度成長時代を経て経済大国へ成長し、わが国が世界の鉄鋼供給基地と化したため、高品質コークスを多量に安定して供給することが宿命となった。

- (4) コークスの品質評価
- (5) 使用原料炭の炭種拡大(一般炭活用)
- 3) コークス炉の効率向上

競争力向上のためには、コークス生産コストの削減が必要であり、あらゆる角度からの検討が行われた。

- (6) 装入炭事前処理技術
- (7) 大型コークス炉ならびに付帯設備の建設、および操業技術

(8) 省エネルギー技術

なお、(6)、(7)は前項2)のためにも必要であった。

4) 環境保全技術

経済の健全な発展と生活環境保全との調和をはかるといふ環境行政方針に則り、コークス工場でもとくに1960年代後半から種々の研究開発が行われ実用化されている。

以上のうち、本報告では主としてコークス製造の基礎的側面に関係の深い(1)~(6)の項目についてのべたい。

3. 主要研究課題の推移

3.1 国内炭の有効利用技術

戦後、わが国鉄鋼業立直りの最大の障害は石炭の不足であった。そのための国策として、鉄鋼、石炭への傾斜生産方式がとられ、一方、当時の占領軍総司令部の要請もあつて、国内炭による高炉用コークスの製造研究が活発に行われた。その後、輸入炭依存体制へ移行後も、政府による石炭産業保護育成の立場から、引き続いて国内炭の利用研究が奨励され1960年代には大規模な研究が行われた。表2に主な研究実績をまとめて示した。

国内炭は、図5¹⁸⁾に示すように地域により差はあるものの、わが国の地質条件に起因して石炭化度が低く、かつイナー成分が少なくデグラディニット[†]を多く含んでいる。また、水素含有量、脂肪族構造部分が多い。そのため、北松炭を除き一般に高揮発分であり、また高

表2 国内炭より高炉用コークスの製造研究

No.	項目	内容	主要文献
1	脱ガス予備処理法	1. コーライト法の活用(1949~52, 輪西, 八幡)	3
		2. 二段乾留法(1952~54, 石炭総合研-八幡製鉄の共研)	4,5
2	溶剤処理の利用	1. 膨潤炭の配合炭としての利用(1950頃, 燃研ほか)	6,7
3	ブリケット化による方法	1. 成型コークス研究の誕生(1955, 八幡)	5
		2. 成型炭配合法開発(1960, 八幡)	5,8
		3. 成型炭全量装入法実用化試験(1965, 鉄鋼協会)	9
4	石炭の乾燥, 予熱の利用	1. 予熱炭装入法(1965, 石炭技研)	10
5	三池炭の利用	1. 酸化炭法(1954, 三井化学, 1958, 三池合成)	11,12
		2. 三池炭の脱硫(1950年代, 九大, 八幡製鉄ほか)	13~15
6	基礎研究	1. 石炭配合の基本的概念(1947, 城)	16
		2. 日本炭の特性(弥生会, 1964~1971)	17

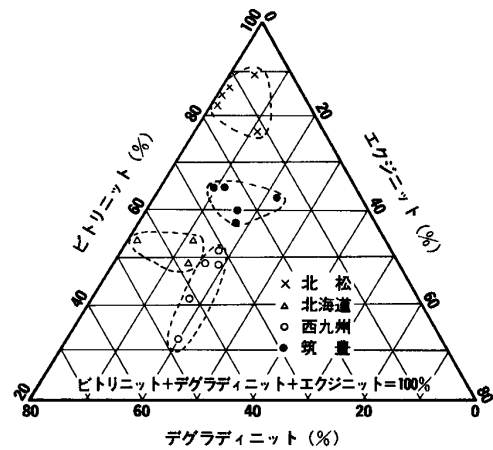


図5 日本炭のマセラル組成

流動性炭(西九州系, 夕張系), 低流動性炭(筑豊系, 赤平・芦別系)の両者に分類できた。いずれにせよ、国内炭主体では高強度、高品質コークスの製造は困難^{†2}であったので、石炭化度の不足を補うためコーライト化、ブリケット化が、粘結性不足に対しては膨潤炭法や石炭予熱などが、また高硫黄である三池炭については脱硫法など種々の新技術が検討された。結局、効果不十分やとくにコスト高であったため、これらの研究は実用化に至らなかった。

しかし、その後豪州、カナダなどの高イナート、低流動性炭を多量に使い始めてからは、高流動性国内炭は装入炭への配合成分として高強度コークスをうるための貴重な資源となり、高度成長時代を支えた縁の下の力持ちであったといえる。ところが、石油危機、最近の円高時代を迎え、政府の度重なる保護政策にもかかわらず、高

[†] 植物の木質部が微細に崩壊したものに由来する微細組織成分であり、通常の石炭主成分であるビトリニットより揮発分や水素を多く含む。

^{†2} 原料石炭の最適性状については、3.3 多銘柄配合法を参照されたい。

価格のため国内炭離れが加速されている。

なお、1964～1971年にわたり、輸入炭を含め国内炭の特性、とくに顕微鏡組織に関する基礎研究が弥生会を中心に進められ¹⁷⁾、石炭科学およびその後の石炭利用研究へ多大の貢献を行った。また、国内炭からの高炉用コークス製造研究の過程で、城は石炭配合に関する基本的概念を1947年に発表¹⁶⁾しているが、これについては後にのべる。

3.2 石炭の粘結性、コークス化性評価法

石炭の粘結性、コークス化性の概念や試験法には経験的要素が強く反映している。したがって、戦後多種類の輸入炭の使用とともに導入された各国の試験法の使用経験によつて、粘結現象やコークス化性評価（コークス強

度を含む）に対する理解が深まった。一方、1950年代から導入されていた石炭の組織学的手法を用いる評価法に関しては、AMMOSOVら¹⁹⁾、SCHAPIROら²⁰⁾²¹⁾によるコークス強度推定への応用およびわが国の原料炭需要の拡大ニーズに呼応して、本法の実用化研究が活発になった^{22)～25)}。その結果、石炭組織自動分析法の開発²⁶⁾²⁷⁾により石炭の評価法として、一部に問題点を残しながらも普及し定着してきた。このような状況変化から、本協会共同研究会コークス部会では、コークス用原料炭分類法の見直しを行い、組織学的パラメーターを導入した新分類法を1983年に制定した²⁸⁾。

以上のような変遷を終えたのち、1980～1984年にかけてISO/TC27石炭・コークス日本委員会用語分類分科会およびほぼ同一メンバーによる石炭利用技術用語辞典編集委員会（燃料協会）では、石炭利用技術用語の統一、制定作業を行った。その際に、粘結性、コークス化性の概念定義（JIS用語、表3²⁹⁾）および粘結性、コークス化性試験法の整理³⁰⁾を行ったが、表4は文献30)の表5.1に石炭組織分析の項を追加し、粘結性、コークス

表 3 粘結性およびコークス化性の定義 (JIS M 0104-1984)

用語	意味
粘 結 性 Caking property	石炭を乾留した時、軟化溶融状態 (Plastic stage) において観測される性質の総称。 これらの性質とは、粘着性、流動性、膨脹性などである。 備考 粘結性の概念は極めてあいまいで、従来から種々の意味に使われてきたが、とくに強粘結炭、弱粘結炭というときの「粘結」は、生成コークスの強度を意味している。これは上記の定義と一致しないので、強粘結炭、弱粘結炭という表現はなるべくさけることが望ましい。
コークス化性 Coking property	石炭を乾留したときに、軟化溶融後、さらに温度が上昇したときに焼き締つてコークスがでるような性質。 備考 コークス化性の強弱は、生成コークスの強度によつて判断する。

表 5 原料炭評価パラメーターの組合せ

No.	石炭化度パラメーター	粘結性パラメーター
1	揮発分 (VM)	粘結力指数 (CI)
2	揮発分 (VM)	最高流動度 (MF)
3	揮発分 (VM)	全膨脹率 (TD)
4	ビトリニット平均	最高流動度 (MF)
5	反射率 (\bar{R}_0) 強度指数 (SI)	組織平衡指数 (CBI)

表 4 粘結性およびコークス化性評価パラメーター

分 類	試 験 法	測 定 値	略号例	
物理的試験	膨 張 性	るつぼ膨張試験	るつぼ膨張指数	CSN
		K B S 試験	K B S 曲線	-
		グレイ・キング試験	グレイ・キングコークタイプ	A,B,...G
		オージベル・アルユジラトメーター	最大膨脹率	TD
	粘 着 性	□ ガ 試 験	□ ガ 指 数	-
		カンブレドン法	カンブレドン指数	-
		粘 結 力 試 験	粘 結 力 指 数	CI
	流 動 性	ギーセラ・ブラストメーター	最 高 流 動 度	MF
	軟化溶融性	サボジニコフメーター	収 縮 量 (x指数)	x
			軟 化 溶 融 層 厚 さ (y指数)	y
コークス化性 (350～1000°C 間の性状)	小型乾留炉	L C T 試験	L C T 指 数	-
		かん焼試験	ド ラ ム 指 数	$DI_{15}^{30}, DI_{15}^{50}$
		1 t 試験炉	タ ン プ ラ ー 指 数	T_{25}, T_6
	工業炉	1 t 炉試験	マ イ カ ム 指 数	M_{40}, M_{10}
		実炉試験	シ ャ ッ タ ー 指 数	SI_{50}^*
	顕微鏡試験 — 石炭組織分析	反射率測定試験	ビトリニット平均反射率	\bar{R}_0
組織成分分析		マセラル含有率	V_i, E, I	
		組織成分含有率	-	
活性成分分析		組織平衡指数	CBI	
	強度指数	SI		

化性評価パラメーターとして再整理したものである。これらは、一般炭も含めた多種類の原料石炭の粘結性、コークス化性の合理的評価という意味では必ずしも十分とはいえないが、実用上の観点からみて、現状ではもつとも納得しやすいものであろう。

また、各石炭の評価パラメーターとして、従来経験的に石炭化度、粘結性の2特性値の組合せが使用されてきた(表5¹³)が、各時代によつて使用石炭が異なり、それに適した評価パラメーターが使用されてきたと考えることができ、先述の原料事情と対応させて整理したのが表6³²)である。

最後に、石炭は生きてるといつてよく、大気中では風化によつて粘結性が低下する。したがつて、各国の新しい石炭が使用され始めると貯炭管理上の指針をうるため、断続的にはあるが風化性の検討が行われ、また風

表 6 原料炭特性と評価パラメーター

No.	時 代	配合炭構成		評価パラメーター
		主原料	特 徴	
1	I 期 1945~1950	日 本 炭	石炭化度不足	VM-CI (石炭化度の若い劣質炭に検出力がある)
2	II~III期 1951~1960	米 国 炭	ほぼバランスのとれた配合炭	VM-MF (粘結炭に検出力がよい)
3	IV 期 1961~1973	多銘柄輸入炭	同 上	SI-CBI, \bar{R}_o -MF (多銘柄特性化に有利である)
4	V 期 1974~	不活性成分の多い多銘柄輸入炭	粘結性不足傾向	SI-CBI, VM-CI, \bar{R}_o -MF などの総合化されたもの、または新しいパラメーター

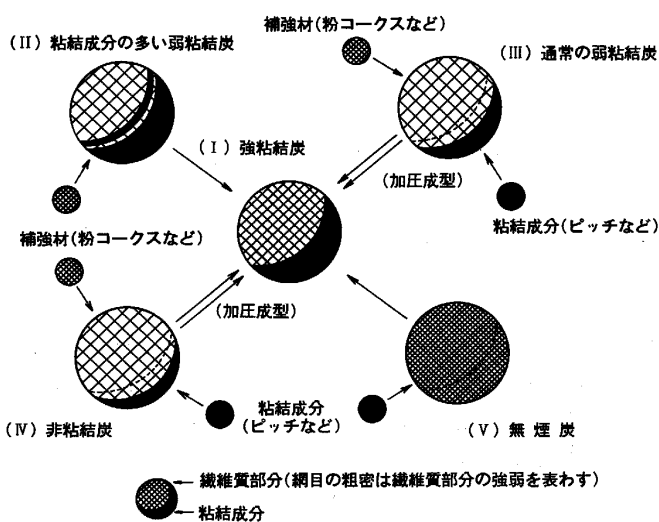


図 6 石炭配合の基本的概念¹⁶⁾

化、貯炭に関する解説³³⁾が行われた。

3.3 多銘柄配合法

今日わが国の多銘柄配合技術は、経験則に基づくとはいえ、世界的に誇りうる非常にすぐれた特徴をもつた技術である。その基本的考え方は、軟化溶融特性の異なる多くの石炭を混合する際に、できるだけ高い温度で軟化溶融し、かつその温度範囲が重なるような石炭を混合する点にある。このことは、長年の間にいわば“体得”した経験的理論であり、戦後40年の間に関係者の共通認識として定着してきた。その中で、基本的に重要な役割を果たしたといえる研究として、以下にのべる二つをあげることができよう。詳しくはそれぞれの原報を参照されたい。

まず、城(1947)は国内炭からの優良コークス製造研究の過程で、石炭配合の基本的概念を提案した¹⁶⁾。これは図6に示す形で表現されているが、石炭の構成成分を繊維質部分¹⁴⁾と粘結成分にわけ、日本炭から製造したコークスの強度が、石炭の主成分である繊維質部分の性状によつて支配的影響をうけることから、良質コークスを造るには繊維質部分の強度を高める¹⁴⁾とともに、粘結分量を過不足なくバランスするように配合することが必要であると考えた。

ついで宮津ら(1974)は、コークス強度に及ぼす配合炭の石炭化度、粘結性(流動性)の要因分離実験を行い、石炭化度支配、流動性支配の概念を導入し、実炉データによつてその有効性を証明した³⁴⁾。図7はその結果を示したものである。すなわち、配合炭の石炭化度一定の場合、流動度によつて生成コークス強度が影響をうける範囲(流動度支配領域)と受けない範囲(石炭化度支配領域)が存在し、後者の場合、コークス強度を変化させるためには、石炭化度を変化させればよい。

石炭配合の際、各石炭の特性化のために用いる性状パラメーターについては、先に示したように歴史的にみて

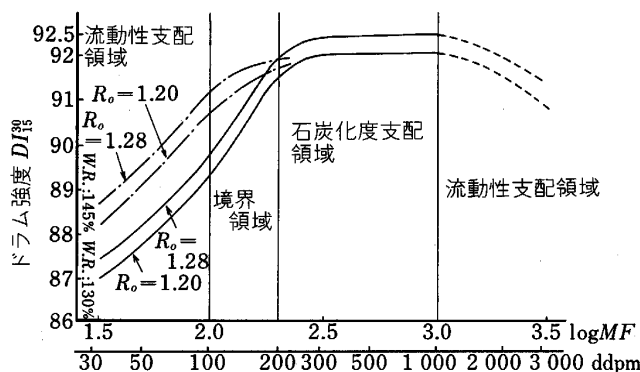


図 7 配合炭の流動性とコークス強度の関係³⁴⁾

¹³⁾ これについては筆者の総説³¹⁾を参照されたい。

¹⁴⁾ “繊維質部分”という表現は、現在では馴染みにくいですが、繊維質部分の強度と石炭揮発分とはよい相関のあることが示されている³¹⁾ので、繊維質部分強度を高めることは石炭化度を上げることに相当する。

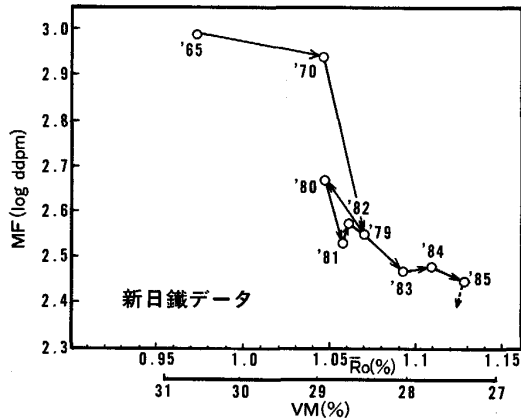


図 8 装入炭流動性の変化推移例

表 5-6 のようなものがある。なお、城が当時の国内弱粘結炭を粘結成分の多い高島・夕張グループと通常の筑豊・砂川グループに分類し、石炭配合におけるこれら粘結成分の多い高流動性炭の役割や評価を明示した結果、その後の低流動性輸入炭への配合用として貴重な役割を果たしたことはすでにのべたとおりである。図 8 に装入炭の流動性低下の例³⁵⁾を示した。

最後に石炭配合に関しては、配合する石炭の組合せによつては単味炭コークス強度の加成性が成立しないといういわゆる“相性”の問題が古くから知られている。これについては、上述の基礎的研究を具体的に定量化した装入炭配合基準設定、換言すれば生成コークスの強度推定法の問題として、数多くの実績データの蓄積に基づく統計的推定式が作られ使用されてきた。その後、1970年代になつて石炭組織分析の利用や、さらにはコークス化機構に基づくコークス生成要因を考慮した、より合理的なモデルが検討されている。今後さらに、コークス炉炭化室のシミュレーションモデルへ組み込まれ、より高度なコークス品質推定式の確立を目指して研究が進められているといえよう。

3.4 コークスの品質評価

コークス品質については、昔は八幡コークス工場の連絡棧橋（高さ 12 ft）上からコークスを落下させ篩分けを行っていたが、1925 年頃英国方式の装置を取り入れ、落下試験の数値に合うように回転数などを決めたのが現在のドラム試験の起源である。1942 年にこれが臨時 JES 325 号として制定されて以来、わが国における基準の試験法として使用されている。外国炭の輸入開始後、粘結性試験法とともにコークス強度試験法も各国の方法が紹介されて比較試験が行われたが、このうち米国 ASTM 方式のタンブラー試験法は、米炭輸入申請との関係もあつて早くから検討され、1957 年に JIS 法に採用された。その後、大型高炉操業におけるコークス品質要求や外国試験法との比較の観点から、城らの提案³⁶⁾により JIS ドラム試験法の追加改正が行われ（1972）、

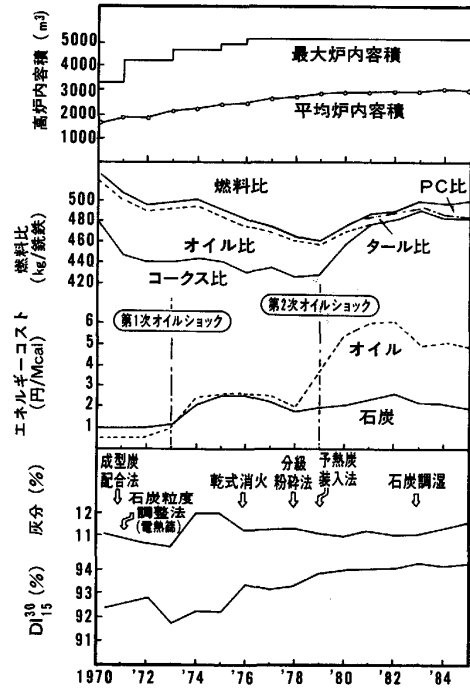


図 9 石油危機前後における状況

ドラム回転数を従来の 30 回転から 150 回転へ増すことにより、割れ強度、構造強度両者を考慮し、かつ検出力も向上できるようになった。

一方、高炉用コークスの必要品質の解明などを目的として、高炉内とくに高温部におけるコークスの挙動に関する研究が行われたが、実験、測定上の困難さもあつて報告され始めたのは、1960 年代になつてからである。初期の実験室的研究を経て、実験温度も低温（～1000℃）から高温（～2200℃）へ、雰囲気も N₂, CO₂ から高炉羽口における空気共存下での反応へ、また反応後あるいは反応中の機械的強度の測定へと展開してきた。これと並行して、高炉休風時に採取した羽口コークス試料や試験高炉での調査も行われた。しかし特筆すべきは、1968 年 10 月、八幡製鉄所東田第 5 高炉の吹止め時に行われた、稼動状態高炉の急冷による解体調査であろう。これ以後、わが国では合計 11 基の高炉について解体調査が行われ、コークス品質のみならず焼結鉱品質や高炉操業あるいは高炉設備に関する非常に多くの知見がえられている。詳しくはそれぞれの報告を参照されたい³⁷⁾。

以上のような経過を踏まえ、各種の高温性状試験法が提案されている³⁸⁾が、いまだ高炉の要求を満足する完全な試験法は見出されていない。また、熱間性状のすぐれたコークスの造り込み技術の検討も始められているが、造り込み理論すなわち基本となる石炭配合理論も確定されておらず今後の課題である。

なお、1970 年代に入り、とくに石油危機後高炉のオールコークス操業下では、各種事前処理技術や CDQ（コークス乾式消火設備）の普及の結果、コークス品質水準が

かなり上昇してきた。図9にその推移を示す。しかし、最近になってこの高水準の品質を見直す気運が出てきており、この線に沿った研究も行われ始めている。

最後に、炭素材料科学の進歩に伴い、多孔質複合材料としてのコークスの組織、構造、物性、マクロ的な工業的性質との関係について、さらにはそれらをベースとしたコークス品質の造り込み技術を指向した研究が少しずつ増してきている³⁸⁾。たとえば、多孔質脆性材料としてのコークスの圧縮破壊試験による、強度と破壊エネルギー、およびコークスの材料力学的性質とドラム強度指数の関係に関する八嶋の詳細な研究³⁹⁾をあげることができる。

3.5 装入炭事前処理技術

石炭をコークス炉へ装入する前の機械的予備処理を事前処理といっている。1950年代後半までは、石炭の配合や品質評価が主要課題であったが、コークス生産量の増大とともにコークス品質改善、生産性向上や石炭選択範囲の拡大、さらに1970年代に入つて環境対策や省エネルギーなどのため、事前処理がコークス製造における重要課題となつてきた。

装入炭の事前処理を基本原理的にわけると、粒度調整(装入炭の均質化)、装入密度増大、装入炭水分低下の3種とすることができる。戦後におけるこれらの主なものをまとめると表7のようになる。なお、粘結材や不活性物質の添加はやや異質であり石炭配合(粘結性調整)の問題であるが、一部の習慣に従い便宜上一緒に収録した。

1) 粒度調整

粒度調整は事前処理技術に共通した基本技術である。1950年代にフランスより紹介されたSOVACO法(石炭組織学的選択破砕法)⁶²⁾は、当時の国内炭、米炭を主体とした配合炭には効果が認められなかつたので実用化されなかつたが、それ以後の装入炭調製法に大きな影響を及ぼしている。すなわち、装入炭調製法は、それまでは各単味炭全量の配合-粉砕方式を主体としていたが、原料石炭の特性によつて粉砕-配合または特性の類似した石炭のグループ別粉砕-配合や、粗粒の硬い銘柄炭のみを一次粉砕したのち配合-粉砕する方式が導入され普及した。また粉砕機も、それまでの主流であつたDisintegratorから、石炭組織成分の選択的破砕に適したImpact crusher または Hammer crusher に置きかえられて普及し現在に至っている。

また、豪州、カナダなどの高イナー炭を多量に使用し始めてから、初めてSOVACO方式の設備が和歌山(1970)、鹿島(1971)へ設置されたが、諸般の事情により進展はなく、和歌山(1977)、鹿島(1975)ともに中止された⁴⁴⁾。その後主として節分機の改良により広畑(1979)⁴⁵⁾⁴⁶⁾、ついで中山(1983)⁴⁷⁾、坂出(1985)⁴⁸⁾で実用化され効果をあげている。

2) 装入密度を増大する方法

スタンピング法は、設備工程の複雑さおよび1970年代までは大型コークス炉への適用が困難であつたため、わが国では実用化に至らなかつたが、オイリング(石油系重油、クレオソート油、界面活性剤の添加)は簡単であり石油危機以前の時代にはかなり実用された。なお、

表7 わが国における装入炭事前処理技術の研究開発

分類	年代	内容	主要文献
粒度調整 (装入炭均質化)	1957~1963	・SOVACO法の適用試験(資源技, 八幡, 富士)	40~43
	1971	・粉砕-配合方式, 反撥粉砕機の導入(各所)	44
	1979	・閉回路粉砕方式(和歌山, 鹿島)	45~48
	1981	・2段分級式閉回路粉砕システム(広畑)→中山(1983)→坂出(1985)	49, 50
装入密度増大	1959~	・オイリング法(八幡, NKK, その他)	51, 52
	1960	・成型炭配合法の開発(八幡)	8
	1965	・成型炭全量装入法実用化試験(国内炭利用研究, 鉄鋼協会)	9
	1971	・成型炭配合法実機化第1号(八幡)	53
1975~1981	・成型炭配合法の普及(国内の40%)	—	
1980~	・スタンピング法(ブロック装入法)の研究(NKK, 川鉄)	54, 55	
装入炭水分の低減	1963	・乾燥炭装入法(フランス)の適用試験(八幡)	56
	1966	・乾燥炭装入法実炉試験(川鉄化学, NKK, 富士鉄)	—
	1968~1975	・乾燥機設備(福山)	—
	1971~1975	・乾燥機+節分機設備(鹿島)	—
1983	・調湿炭装入法(大分)→千葉(1987), 中山(1988)	57, 58	
粘結性調整	1965	・予熱炭装入テスト(国内炭利用研究, 石炭技研)	10
	1979	・Precarbon法導入(室蘭)	59
粘結性調整	1949~1952	・コーライト法の適用(室蘭, 八幡)	3
	1947	・粉コークス配合法の検討(八幡)	—
	1950~1965	・オイルコークスの配合(各所)	60
粘結性調整	1971~1975	・粘結材添加(川鉄, アスファルト)	61
	1975~1982	・粘結材添加(住金, ASP)	
	1982	・粘結材添加法試験(新日鉄, SRC)	
		・粘結材添加法試験(NKK, SRC, 重質油)	

最近になつてスタンピング法の一種と見なされるブロック装人法が検討されている⁵⁴⁾⁵⁵⁾。

成型炭配合法は、開発(1960)⁸⁾より10年以上経過後、高炉の大型化、良質原料炭確保の見通し難などの背景のもとに、1971年に初めて八幡で実用化された⁵³⁾。この技術は、コークス量の確保、良質原料の節減、非粘結炭の活用などの目的に十分答えてくれる技術であつたため、石油危機後も国内各社へ広く普及し、国内の高炉用コークスの約40%に適用されている。また、外国にも技術輸出された。しかし、低成長時代になりより一層の製造コスト削減が課題となつている。

3) 装入炭水分低減

1960年代初めにフランスから乾燥炭装人法が紹介され検討⁵⁶⁾、1970年前後に一部実機化(福山、鹿島)されたが大きな発展はなかつた。石油危機後の省エネ技術として見直され、排熱回収と組み合わせた調湿炭装人法(装入炭水分5%)として1983年に大分で実機化され⁵⁷⁾、今後普及の動向にある⁵⁸⁾。また、一方では予熱炭装人法としても発展し、1960年代に国内炭利用の観点から検討された¹⁰⁾。しかし本格的には、その後欧米で完成された形の技術が、1979年に室蘭へ導入された⁵⁹⁾。

4) 粘結性調整

不活性物配合については、戦後復興期に高揮発分国内炭多量使用時のき裂防止材として粉コークスやコーライトが、その後低揮発分米炭節減対策として輸入オイルコークスが使用されたことがある。

粘結材添加法は、高度成長時代の原料炭選択範囲拡大のための手段として検討され、1970年代に石油系粘結材が実用化された⁶³⁾⁶⁴⁾¹⁵⁾。その他、石炭系粘結材を含め非常に多くの基礎研究や工業化研究が行われ、石炭の粘結、コークス化現象、コークスの性質についての理解が深まつた。技術的の面からは、将来の資源状況によっては、有効な粘結性不足対策として注目されよう。

3.6 使用原料炭の炭種拡大(一般炭活用)

高度成長時代に、良質粘結炭の不足対策および価格上昇に対するバーゲニングパワーとして、一般炭(非・微粘結炭)の活用技術が検討された。これは基本的には石

表 8 事前処理技術における非微粘結炭の標準的使用可能量

	方 法	使用可能量 (%)
1	成 型 炭 配 合 法	15~20
2	粘 結 炭 材 炭 添 加 法	20~25
3	予 熱 炭 粉 装 入 法	20~25
4	分 級 粉 砕 法	5~10
5	調 湿 炭 装 入 法	5~10
6	成 型 コークス法	70~80

¹⁵⁾ その実用例として、成型炭配合法と組み合わせた住友金属グループによるスミコールシステム⁶⁵⁾がある。

炭配合の問題であり、前項でのべた各種事前処理技術がどれ位まで一般炭使用を可能とするかということである。表8に現状での結果を示す。

一方、長期的観点から、一般炭を多量あるいは一般炭のみからの高炉用コークス製造を目的として、成型コークス製造技術の開発研究がとくに1960年以降活発に続けられた。これら研究の集大成ともいえる日本鉄鋼連盟の200t/日パイロットプラントによる研究⁶⁶⁾が、1978~1986年にかけて実施された¹⁶⁾。その結果、一般炭70~80%を使用して大型高炉用コークスと同一品質レベルの成型コークスを、現在の室炉コークス並のコストで製造できる見通しがえられている⁶⁷⁾。

4. 最近の研究動向

4.1 最近10年間の研究発表の動向

図10にわが国における最近10年間の研究報告件数の推移を示した。1978~1983年にかけて漸増し、それ以降は100件/年前後である。最近1~2年はやや増加傾向を示しており、内容的には乾留機構、事前処理、炉操業技術(付帯設備を含む)、副産物などの研究が増加している。また、製鉄分野における石炭エネルギーの利用に関する研究が多く見られる。

本協会特定基礎研究会においては、原料炭の基礎物性部会(1977~1981)、石炭のコークス化特性部会(1982~1984)、石炭の炭化反応機構部会(1986~1988)と引き続き、とくに石炭、コークスに関する基礎的研究に重点を置いて、大学へ研究を委託し数多くの成果がえられている⁶⁸⁾⁶⁹⁾。

以下に最近の新しい研究動向の一端を、外国の例を含

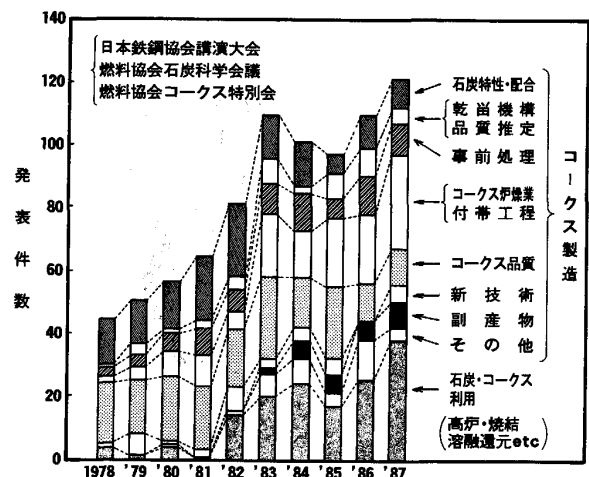


図 10 製鉄分野における石炭、コークス関連研究発表件数の推移

¹⁶⁾ 通商産業省および(財)石炭技術研究所の石炭利用技術振興費補助事業の一環として進められ、1978年鉄鋼連盟に「連続式成形コークス研究開発委員会」を設置、川崎製鉄、神戸製鋼、新日本製鉄、NKKの4社により、総額約100億円を投じて共同研究が進められた。

めトピックス的に紹介する。なお紙数の関係で文献引用は省略した。

4.2 石炭の乾留機構面からのアプローチ

従来のコークス研究は、石炭の粘結過程を物理的側面から検討し、種々の代用特性（ギーセラー流動度、コークスの DI 指数など）を用いて統計的に解析するという共通のパターンのものが多かった。最近では、基礎的には炭素材料科学の手法を積極的に取り入れ、とくに化学的側面からの検討が、またコークス炉炭化室内の物理的現象の解明によつてコークス化機構のモデル化が試みられている。表9にこれらに関する主な例を示した。

今後、コークス炉炭化室シミュレーションモデルによるコークス炉操業技術の効率化や次世代コークス炉の開発、あるいは有効な装入炭事前処理技術開発へ、これらの研究が反映され進展することを期待したい。

4.3 コークス炉副産物に関する研究

安定成長時代に入り、鉄鋼業の複合多角経営の一環として化学事業の積極的強化がはかられているが、石炭液化、ガス化を含め将来の石炭化学原料確保の観点から、副産物に関する研究が活発化してきている。

コールタルやガスの発生機構、発生量、品質推定、コークス炉でのタール品質作り込みなどに関する研究が、本協会特定基礎研究会石炭の炭化反応機構部会をはじめ各社で行われている。これらの研究は、将来のコークス炉リプレース時における新コークス炉基本仕様へ反映されるべきものであろう。また、原料コールタルを多量にうるため、コークス炉によらないで石炭を中低温あるいは急速乾留して多量の一次タールを得たのち二次改質する、という考え方の研究がソ連、アメリカなどで、またわが国では予熱-溶剤抽出-成型-炭化の多段乾留プロセスに関する基礎研究が九大で進められている。

表 9 最近の乾留機構関連研究例

No.	項 目	代 表 例
1	軟化溶融過程の分子化学的解析	・北大、九大：電子移動、水素移動、ラジカル反応、メソフェーズ生成などの観点より検討 生成コークス組織の制御
2	コークス化過程のX線 CT による解析	・新日鉄：乾留過程の充填密度分布、生成コークスの気孔率分布の推定
3	セミコークスの収縮過程解析	・東北大、Bergbau-Forschung (西ドイツ)：応力解析
4	乾留機構に基づくコークス品質推定モデル	・住金、川鉄、新日鉄、Merrik (英)
5	乾留反応の進行状況解析	・三菱化成：熱分解ガスの発生パターンより反応進行を追跡
6	実炉炭化室内現象の解明	・Bergbau-Forschung：炭化室を液体Nで冷却し軟化層を調査 ・Bergbau-Forschung、鉄鋼協会石炭の炭化反応機構部会：炭化室内の移動現象解析

4.4 新製造技術

成型コークスについてはすでにのべたとおりであるが、ソ連では熱間成型法による工業化試験プラント(200万t/年)が建設中と報告されている。

コークス炉のリプレース問題に関連して最近注目を浴びているのが、西ドイツに建設された広幅コークス炉および Jumbo Coking Reactor 計画である。詳述する余裕はないが、環境、労働力確保、生産構造、原料石炭の性状など種々の要因が絡むので、その評価は簡単にはできないが、今後の進展が注目されている。

5. 今後の展開方向

戦後約 40 年を振り返ってみると、高炉用コークスに関連する研究開発ニーズは、図 11 に示すように、生産量確保とコークス品質指向が交互に出現したと考えられよう。この観点からみると、石油危機後はコスト指向はもちろんであるが、コークス品質について高炉解体調査も踏まえ、コスト低下のための最適品質の見直しの時代と見なせよう。また、それに続いて生産量の点から生産量調整機能をいかにして持たせるかが問題となっており、そのための研究開発、実用化の時代がくるものと考えられる。それは当然、10 年後以降と考えられる次期コークス炉に課せられた宿命である。

具体的項目については、つぎのような 5 項目が考えられよう。

1) 資源選択範囲の拡大に適応できる第三世代配合理論の確立

第一世代：配合炭を均一系と考えた Static な統計モデル (前述の第 I ~ III 期)

第二世代：不均一系の概念を導入 (石炭組織成分)、ただし Static な統計モデル (第 IV 期以降)

第三世代：不均一系 (石炭組織成分、粒度)、コークス化機構に基づく Dynamic な理論的モデル

2) 高炉 (とくに高温帯) における耐劣化性についての品質評価基準の確立。品質改善よりも優先して重要、原料石炭選択範囲の拡大研究の目標設定上もきわめて重

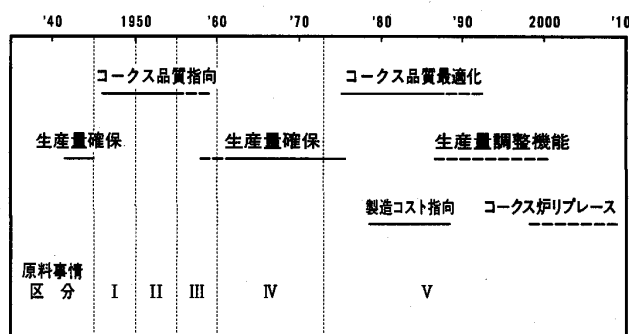


図 11 高炉用コークスに関する研究開発ニーズの推移

要である⁷⁰⁾。

3) 乾留機構に基づいたコークス炉シミュレーションモデルの確立。コークス炉操業の最適化および効率化、コークス品質、副産物制御技術の基本資料として必要。

4) 省エネ、生産性向上、コークス品質向上、一般炭増使用などを同時に達成可能な装入炭事前処理技術の確立。

5) コークス炉長寿命化および次期コークス炉イメージの探索。当面は炉命延長技術、次期コークス炉イメージの必要条件として、

- 資源選択範囲大、高生産性(生産コスト低減)
- クリーンプロセス、安全(環境対応)
- 生産調整容易(市況産業としての対応)

以上の研究開発の実行に際しては、従来からこの分野に強く残っている統計的解析研究(経験主導)から脱皮し、因果律的解析研究(理論主導)への転換が必要であることをあえて強調したい。

6. おわりに

戦後約40年間、資源小国であるわが国が原燃料多消費型産業である鉄鋼生産において、世界の鉄鋼供給基地といわれるほどの大発展を遂げたのは、農耕民族的な粘り強い積極的な知識欲と、勤勉な儒教的精神および因果応報的な仏教精神の発露に負うところが大きいと思う。

21世紀への飛躍に向けて、今わが国の鉄鋼業は歴史的な構造改革期にあり、コークス製造技術は戦後40年間にそうであつたように、これからも鉄鋼業発展のキープポイントを握っていることに変わりないであろう。

現在、たとえば金融情勢にみられるように、世界は文字どおりグローバル化の時代であり、開かれた態度がない限り技術の発展はありえない。

次世代を背負う若い研究者、技術者の奮起を期待したい。

終わりに本報告執筆の動機を与えられた工業技術院公害資源研究所石炭部長伊牟田和敏博士、内容について有益な助言をいただいた新日本製鉄(株)製鉄技術室コークス技術室長山本英樹氏、歴史的事実について数々の教示をうけたNKK鉄鋼研究所宮津隆博士の各位へ深く感謝いたします。

文 献

- 1) 鉄鋼業の基礎知識(新日本製鉄(株)調査部編)(1975), p. 153(私信)
- 2) 原燃料からみたわが国製鉄技術の歴史(鉄鋼科学・技術史委員会製鉄WG編)(1984), p. 104
- 3) コークス・シリーズ, 1(1950), p. 6~42, 2(1951), p. 35 [燃料協会], 和田亀吉: 鉄と鋼, 41(1955), p. 714
- 4) 浅井一彦, 丹野晴彦, 遠藤勝治郎, 城 博, 井田四郎: 鉄と鋼, 41(1955), p. 929, 城 博, 井田四郎: 鉄と鋼, 42(1956), p. 226
- 5) 城 博: 燃協誌, 63(1984), p. 2
- 6) 燃協誌, 28(1949), p. 225に関連報告7件が掲載されてい

- る。
- 7) 吉田雄次, 熊井順二郎, 佐藤睦郎, 黒須善作, 川名善男, 堀池 有, 山口 潔: コークス・シリーズ, 4(1953), p. 200 [燃料協会]
- 8) H. JOH and S. IDA: Div. Gas and Fuel Chem., Amer. Chem. Soc., Preprints of Papers, 1(1960), p. 117, 城 博, 井田四郎: 九鉄誌, 30(1962), p. 430
- 9) 日本鉄鋼協会国内炭活用製鉄用コークス製造試験委員会: 燃協誌, 45(1962), p. 543
- 10) 吉田 晋, 佐藤春三: 燃協誌, 44(1965), p. 239, p. 751, 45(1966), p. 563, 吉田 晋: コークス・サーキュラー, 14(1965), p. 147
- 11) 例えば, 岩崎高雄, 早川敬一郎, 内野雅之: コークス・シリーズ, 4(1953), p. 255 [燃料協会]
- 12) 中込 闌, 吉田 晋, 松浦 保, 杉村秀彦: 燃協誌, 37(1958), p. 361, p. 465, p. 592
- 13) 加藤常太郎, 竹下健次郎: 燃協誌, 33(1954), p. 531
- 14) 城 博, 井田四郎: 製鉄研究, (1955) 211, p. 889
- 15) 美浦義明: 九州大学学位請求論文(1962)
- 16) 城 博: 燃協誌, 26(1947), p. 1, p. 98
- 17) 石炭技術研究所特別報告, 石炭化および炭化初期段階における諸性状の解明と日本炭の特徴(1973), [石炭技術研究所]
- 18) 美浦義明, 奥原捷晃, 山口徳二: 私信
- 19) I. I. AMMOV, I. V. EREMIN, S. F. SUKHENKO and L. S. OSHURKOVA: Koks Khim. (1957) 12, p. 9
- 20) N. SCHAPIRO, R. J. GRAY and G. R. EUSNER: Blast Furnace, Coke Oven and Raw Materials, Proc., AIME, 20(1961), p. 89
- 21) N. SCHAPIRO and R. J. GRAY: J. Inst. Fuel, 37(1964), p. 234
- 22) 奥山泰男, 宮津 隆, 杉村秀彦, 熊谷光照: 燃協誌, 49(1970), p. 736
- 23) 宮津 隆, 奥山泰男, 福山辰夫, 杉村秀彦: 日本鋼管技報, (1971) 52, p. 195
- 24) 毛利春夫, 黒木正章, 小倉正雄, 鳴島柁二, 林山泰三, 八崎八代栄: 燃協誌, 50(1971), p. 622
- 25) 小島鴻次郎: 燃協誌, 50(1971), p. 894, コークス・サーキュラー, 25(1976), p. 301
- 26) 小島鴻次郎, 桜井義久, 須貝哲也, 茂木正好: 燃協誌, 53(1974), p. 1073
- 27) 小島鴻次郎, 桜井義久: 鉄と鋼, 64(1978), p. 1661
- 28) 原料炭分類法(日本鉄鋼協会共同研究会コークス部会編)(1983)
- 29) JIS M 0104-1984 石炭利用技術用語
- 30) 燃料協会石炭利用技術用語辞典編集委員会: 石炭利用技術用語辞典(1984), p. 24 [コロナ社]
- 31) 美浦義明: 燃協誌, 57(1978), p. 384
- 32) 文献31)表3をもとに時代区分を対応させた。
- 33) 美浦義明: 製鉄研究, (1960) 232, p. 3089, (1961) 234, p. 3187, 燃協誌, 58(1979), p. 112
- 34) 宮津 隆, 奥山泰男, 鈴木喜夫, 福山辰夫, 森 高: Intern. Iron and Steel Congress, Düsseldorf, vol. I(1974), No. 1. 2. 2. 1. [VDE], 日本鋼管技報, (1975) 67, p. 125
- 35) 山本英樹: 第116・117回西山記念技術講座(日本鉄鋼協会編)(1987), p. 50
- 36) 城 博, 井田四郎, 小林正俊: コークス・シリーズ, 13(1964), p. 71, 14(1965), p. 29 [燃料協会]
- 37) 例えば, 高炉内現象とその解析(鉄鋼基礎共同研究会高炉内反応部会編)(1982), Blast Furnace Phenomena and Modelling(鉄鋼基礎共同研究会高炉内反応部会編)(1987)
- 38) 美浦義明: 鉄と鋼, 67(1981), p. 468
- 39) 八嶋三郎: 原料炭の基礎物性部会報告書(日本鉄鋼協会特定基礎研究会原料炭の基礎物性部会編)(1982), p. 117, 石炭のコークス化特性部会報告書(日本鉄鋼協会特定基礎

- 研究会石炭のコークス化特性部会編) (1985), p. 154
- 40) 例えば, 木村英雄: コークス・シリーズ, 7 (1957), p. 173 [燃料協会]
- 41) 城 博, 井田四郎: コークス・シリーズ, 10 (1960), p. 92 [燃料協会]
- 42) 長谷場七郎, 城 博, 中原 実: コークス・シリーズ, 11 (1961), p. 149 [燃料協会]
- 43) 鈴木 信, 菊池淑矩: コークス・シリーズ, 10 (1960), p. 73 [燃料協会]
- 44) 桐谷義男: 自伝的コークス技術史, 住友におけるコークス事業 (1988), p. 150
- 45) 美浦義明, 山口徳二, 西 徹, 米 靖弘: 燃協誌, 60 (1981), p. 771
- 46) 米 靖弘, 村上昭三, 山中広明, 横山和弘, 森山 一, 山口徳二, 美浦義明: 燃協誌, 61 (1982), p. 58
- 47) 高井 彰, 梅橋弘芳, 種 真一, 鮫島貞親, 上田光夫: 中山製鋼技報, (1985) 24, p. 1
- 48) 日新製鋼(株), 三菱化成工業(株) 私信 1986年6月
- 49) 杉辺英孝, 宮川亜夫: 鉄と鋼, 68 (1982), p. 2133
- 50) 笠岡玄樹, 青山充三, 山崎健二, 杉辺英孝, 宮川亜夫: 川崎製鉄技報, (1981) 13, p. 493
- 51) 片岡次夫, 岩田智次: コークス・シリーズ, 9 (1959), p. 86 [燃料協会]
- 52) 辻畑敬治, 児玉惟孝, 中原 実, 武居和人: コークス・シリーズ, 10 (1960), p. 110 [燃料協会]
- 53) 井上 誠, 吉永博一, 日野契芳: 燃協誌, 53 (1974), p. 315
- 54) 例えば, 加藤友則, 森下良彦, 根本謙一, 竹森秀行, 岡田 豊: 日本鋼管技報, (1986) 115, p. 42
- 55) 例えば, 桑島 滋, 亀井隆雄: 鉄と鋼, 62 (1987), S 44
- 56) 城 博, 井田四郎, 金森捷見: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 384
- 57) 和栗真次郎, 細川勝也, 大西輝明, 中川浩一郎, 高野橋豊, 串岡 清, 金野好光, 大野護允: コークス・サーキュラー, 34 (1985), p. 92
- 58) 小林俊明, 高橋博保, 谷野道郎, 高橋 裕, 小幡晃志, 田中邦忠, 三木克之, 岩船 明: 材料とプロセス, 1 (1988), p. 1006
- 59) 須沢昭和, 三国 修, 野口信雄, 松岡 宏, 加茂谷大: コークス・サーキュラー, 30 (1981), p. 96
- 60) 例えば, 入 一二, 鈴木驥一: コークス・シリーズ, 2 (1951), p. 46 [燃料協会]
- 61) 例えば, 松原健次: コークス原料粘結材の評価に関する研究 (1989), 東京大学学位請求論文
- 62) E. BURSTLEIN: Chaleur et ind., 35 (1954), p. 351, 36 (1955), p. 14
- 63) 鷺見弘一, 加治久継, 仲西 肇: 化学工学, 41 (1977), p. 99
- 64) 桐谷義男, 露口亨夫, 仁礼尚道: 燃協誌, 51 (1972), p. 639
- 65) 桐谷義男, 露口亨夫, 仁礼尚道: 燃協誌, 56 (1977), p. 886
- 66) 美浦義明, 奥原捷見: 燃協誌, 61 (1982), p. 169
- 67) 奥原捷見: 石炭利用技術研究発表会講演集 (第9回) (1987), p. 127 [石炭技術研究所]
- 68) 原料炭の基礎物性部会 (中間報告書) (日本鉄鋼協会特定基礎研究会原料炭の基礎物性部会編) (1980), 原料炭の基礎物性部会報告書 (日本鉄鋼協会特定基礎研究会原料炭の基礎物性部会編) (1982)
- 69) 石炭のコークス化特性部会報告書 (日本鉄鋼協会特定基礎研究会石炭のコークス化特性部会) (1985)
- 70) 文献 2), p. 83