

日本鉄鋼業における独自技術の開発と現在-4

微粉炭塊成化 (DAPS) によるコークス製造技術

Development of Dry-cleaned and Agglomerated Precompaction System (DAPS) for Metallurgical Coke-making

加藤健次
Kenji Kato

新日本製鐵(株) 環境・プロセス研究
開発センター 主幹研究員

1 はじめに

わが国の鉄鋼業におけるコークス製造技術においては、従来から石炭資源を有効に使用するための資源対応力の向上、コークス品質の向上、コークス炉の生産性向上、および乾留熱量低減などを目的として研究が行われ、技術開発が進められてきた。石炭資源の有効利用を目的として開発された代表的な技術のひとつとして、DAPSプロセス (Dry-cleaned and Agglomerated Precompaction System) がある。この技術は、石炭中の微粉炭を塊成化することによって、コークス強度を向上させるとともにコークス炉に装入する際の発塵を抑制して環境対応力を高めることを主な目的として新日本製鐵(株)が開発し、1992年に新日本製鐵(株) 大分製鐵所で実機化された^{1, 2)}。

DAPSプロセスは、従来の石炭水分を5～6%程度に調整した後にコークス炉に装入してコークスを製造するCMCプロセス (Coal Moisture Control Process)³⁾をさらに高度に発展させた技術であるが、単なるCMCプロセスの改善によって完成された技術ではない。本技術を開発するための基礎研究、工業化段階での開発課題、および工業化規模のスケールアップ課題の克服は決して安易なものではなかった。DAPSプロセスの実機化による石炭資源の有効利用に対する波及効果は非常に大きく、現在、順調な操業を継続的に行っている^{4, 5)}。

本報告では、今後の研究開発の参考となることを願って、製鉄分野のコークス製造工程における研究開発の一例として、微粉炭塊成化 (DAPS) によるコークス製造技術の開発について紹介する。

2 微粉炭塊成化技術 (DAPS) の基礎開発 (1979～1983年)

2.1 微粉炭塊成化技術の必要性

コークス製造プロセスの石炭事前処理技術であるCMCプロセス等の乾燥炭装入法は、乾留熱量の低減、コークス品質の向上、およびコークス炉の生産性向上を目的に開発が行われ、実用化されてきた。

CMCプロセスはコークス炉の廃熱などを利用して、石炭水分を原炭の約9～10%から約5～6%に乾燥して水分調整することにより、石炭1tを乾留する際に使用する乾留熱量を約60～80 Mcal削減する省エネルギー効果がある³⁾。しかし、CMCプロセスによる乾燥炭装入法では、石炭水分をあまり低下させると搬送過程及びコークス炉への装入作業中に石炭中の微粉炭が発塵するため、作業環境の悪化、コークス炉内での付着カーボン増加によるトラブル、および副産物であるタール品質への悪影響等の問題点が発生する。

石炭乾燥設備からコークス炉への搬送過程における石炭の発塵性を評価するために、図1に概要を示す発塵試験装置を用いて石炭水分と発塵強度の関数が調べられた¹⁾。実験は1kgの石炭試料を発塵試験装置に装入した後に、発塵試験装置内に浮遊する微粉炭が目視で見えなくなるまでブロワーで吸引し、捕集された石炭量を測定した。その結果、図2に示すように、石炭水分の低下に伴って発塵強度が高くなることがわかった。図3に、水分レベルが異なる石炭を顕微鏡で観察した結果を示す¹⁾。水分が高い場合は石炭中の粗粒炭に微粉炭が付着すること、および微粉炭相互で水を結合材として擬似粒子を形成するため、発塵強度は低い。しかし、事前処理工程で石炭を乾燥することによって擬似粒子が崩壊して微粉炭の単粒子化が起こるために、発塵強度が上昇する。図4に、石炭中の74 μm 以下粒子の割合と発塵量の関係を示す¹⁾。この図から、両者の間には強い相関関係があり、石炭中の

74 μm 以下の微粒子が発塵に寄与していると推定された。

以上のことから、石炭水分を低下させた乾燥炭操業を安定的に行うため技術として、微粉炭を圧密成型して塊成化し、発塵量を低下させることが重要であると考えられた⁶⁾。

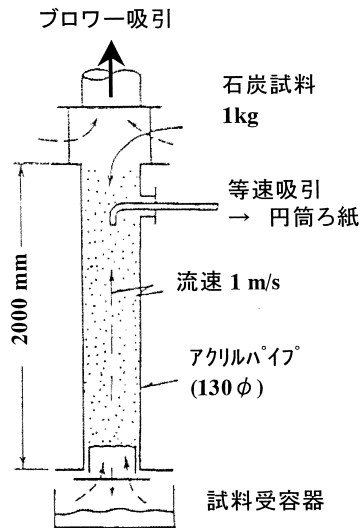


図1 発塵試験装置

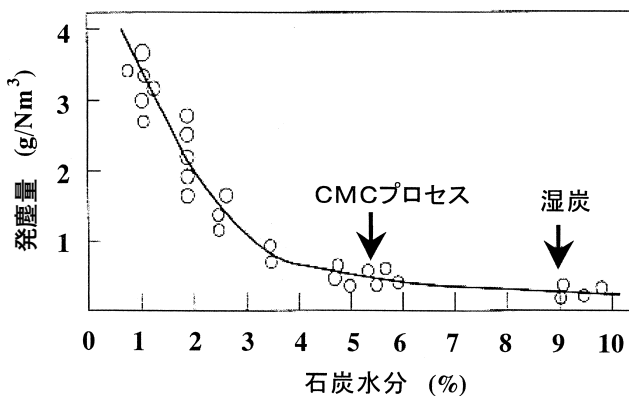
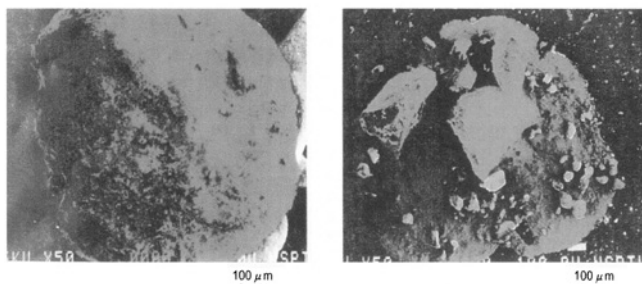


図2 発塵強度指数と石炭水分の関係



水分5%、擬似粒子

水分1.5%、単粒子が離脱して擬似粒子が崩壊

図3 石炭の擬似粒子の状態

2.2 微粉炭の塊成化による石炭性状への影響

石炭中の微粉の発生源は、山元での採炭、選炭、あるいは輸送工程、およびコークス工場での粉碎工程にある。このうち、採炭、選炭、および輸送工程で発生した微粉炭粒子は、空気との接触面積が大きいこと、および接触時間が長時間にわたるために酸化して粘結性が低下する。一方、粉碎工程において発生した微粉炭は粒子径が小さくなることによって加熱時の膨張性が低下する。

石炭の微細組織成分のうち、粘結性の高いビトリニットは粉碎されやすい特性を有している。そのため、微粉炭中には粘結性の高いビトリニットが濃縮されている。粒径が0.3 mm以下の微粉炭の見掛け比重と膨張性の関係を調べた結果を図5に示す^{1, 2)}。この結果、微粉炭を高密度に塊成化することによって微粉炭の粘結性を回復させることが可能であることがわかった。以上の結果から、微粉炭を加圧成型して

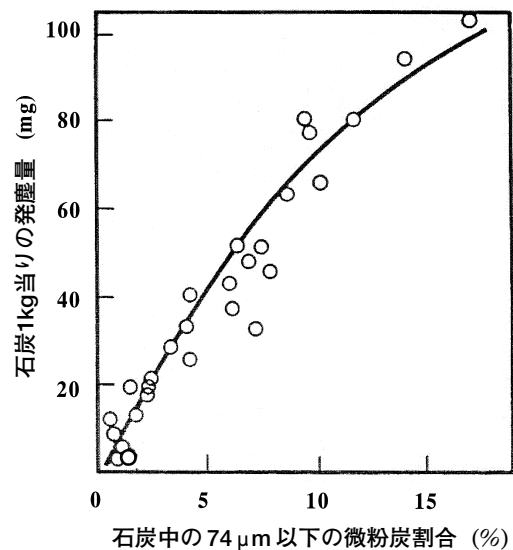


図4 発塵量と石炭中の74 μm 以下の微粉炭割合の関係

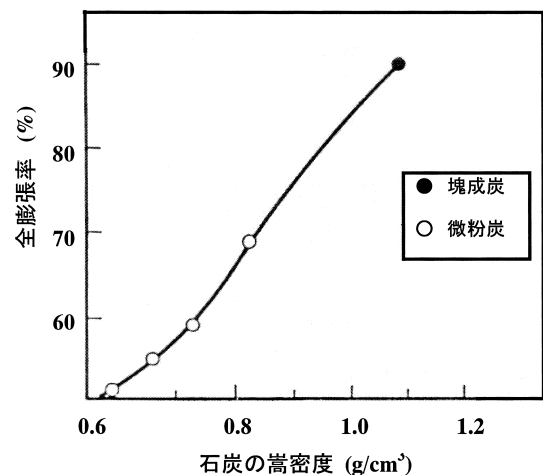


図5 全膨張率と石炭の嵩密度の関係

塊成化することによって、微粉炭の粘結性を向上させ、コークス化時の石炭粒子の結合を良好にすること、およびそれと同時に微粉炭に由来する発塵を抑制すること効果が得られることがわかった⁷⁻⁹⁾。

3 工業化に必要な技術開発 (1983～1989年)

3.1 微粉炭乾燥分級技術の開発

石炭の乾燥および微粉炭を分級する装置として、流動層による乾燥分級方式をコークスプロセスに世界で初めて適用する検討が行われた。その結果、約6800t/日規模の石炭を1台の流動層で効率良く乾燥・分級する設備が開発された(図6)^{4,5)}。

3.2 微粉炭の塊成化技術の開発

微粉炭の造粒法には、ペレタイジング法、ブリケットティング法などがあるが、これらの方法は、水またはバインダーの添加が必要である。本研究においては、微粉炭を乾燥状態でバインダーを添加せずに塊成化する方法が検討された^{1,2)}。これは、図7に概要を示すロールコンパクターを用いた方法である。

ロールコンパクターで圧密成型した塊成炭の強度は、I型ドラム試験機を用いて塊成炭試料を60回転後に1mmの篩で篩分けして篩い上に残った試料の割合で表した。石炭粒径と塊成炭強度の関係調べた結果、図8に示すように、石炭粒径の増加に伴って塊成炭の強度が低下することがわかった^{1,7,8)}。この原因は、石炭の粒径が大きくなるほど、石炭粒子内のクラック発生が増加するためである。図8から、塊成炭の強度を考慮して、分離する微粉炭の粒径は0.3 mm以下に設定した^{1,2)}。石炭粒径が0.5 mm以下の微粉炭を圧密成型して塊成化することにより、バインダーを添加しない場

合でも軟ピッチ(コールタールを蒸留して得られる残留物)を添加した場合と同等の強度を有する塊成炭が製造できることがわかった(図9)⁶⁾。

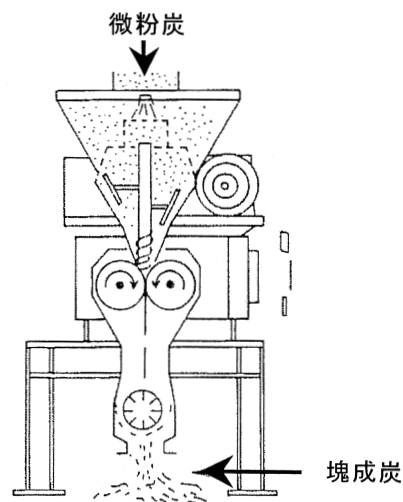


図7 ロールコンパクター試験装置の概要

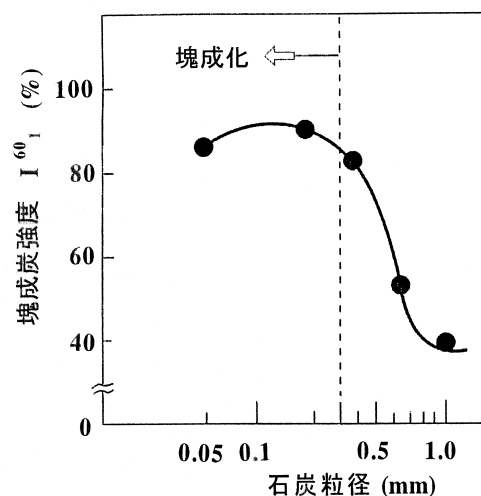


図8 塊成炭強度と石炭粒径の関係

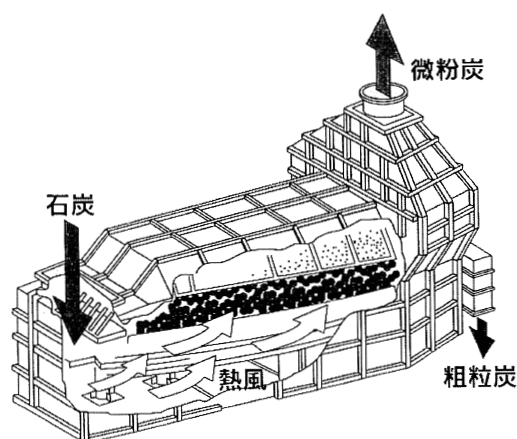


図6 流動層乾燥分級設備の概要

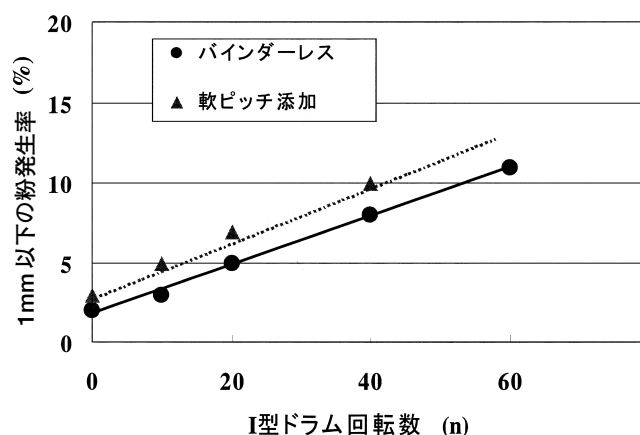


図9 1mm以下の粉発生率とI型ドラム回転数の関係

その他、実機化の課題として、成型圧力、ロール直径のスケールアップ、成型時の脱気条件等について詳細な検討が行われた^{6,8,9)}。

4 DAPSプロセス実機設備の開発 (1989～1992年)

4.1 DAPSプロセス

コークス製造工程における新しい事前処理技術として、石炭を乾燥して微粉炭を分離した後、発塵性の高い微粉炭を乾燥状態で塊成化することにより、コークス強度を向上させるとともに発塵を抑制して環境対応力を高めるDAPSプロセスが開発された。DAPSプロセスの概要を図10に、主な設備使用を表1に示す⁴⁾。DAPSプロセスでは、流動層乾燥機によって0.3 mm以下の微粉炭がサイクロンで分級され、微粉炭は成型機で塊成化された後に、粗粒炭と混合され、コークス炉に装入される。石炭中の微粉炭の割合は約30%である。乾燥機的能力は284t/h、成型機の型式はロールコンパクターで、ロール径1200 mm、ロール幅910 mm、能力28.4t/hの成型機が3基設置されている⁴⁾。

DAPSプロセスにおける石炭の装入密度は 0.80t/m^3 であり、コークス炉内で均一化している。DAPSプロセスでは、微粉炭を加圧成型することによって、発塵性を抑制するとともに微粉炭の粘結性が向上する^{1,4)}。

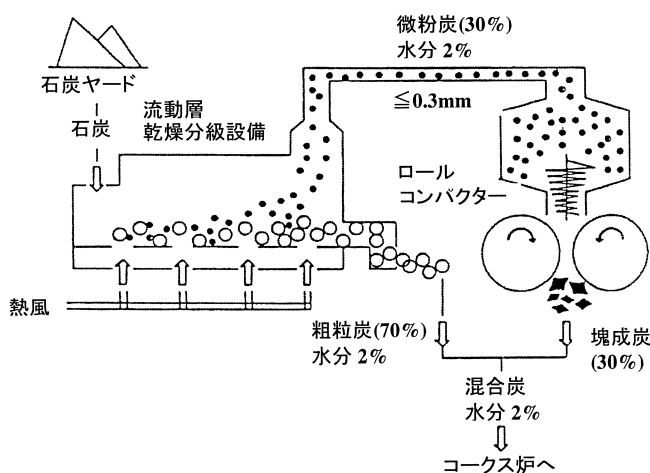


図10 DAPSプロセスのフロー

表1 DAPS設備の主な仕様

設備	主仕様
流動層乾燥機	284 t/h, 水分 9% → 1.8%
熱風発生炉	2930×10^4 kcal/h
微粉炭ホッパー	100 m^3
塊成機	28.4 t/h, 3機

4.2 コークス強度向上効果

DAPSプロセスで製造したコークスの強度向上効果を評価するために、同一の石炭配合である原料炭を用いて、DAPSプロセスと従来のプロセスで製造したコークスの強度指標である DI^{150}_{15} (JIS K 2151) を比較した。その結果、DAPSプロセスで製造したコークスは、CMCプロセスで製造したコークスに比べて DI^{150}_{15} が1.5ポイント、CSR (コークスの CO_2 ガスとの熱間反応後強度) が4.5%と大幅に向上することがわかった (図11, 12)^{1,4,5)}。

4.3 コークス強度向上メカニズム^{1,2,6)}

DAPSプロセスによるコークス強度向上メカニズムは、以下の通り。

①石炭の装入密度上昇によるコークス気孔率低下、および粒

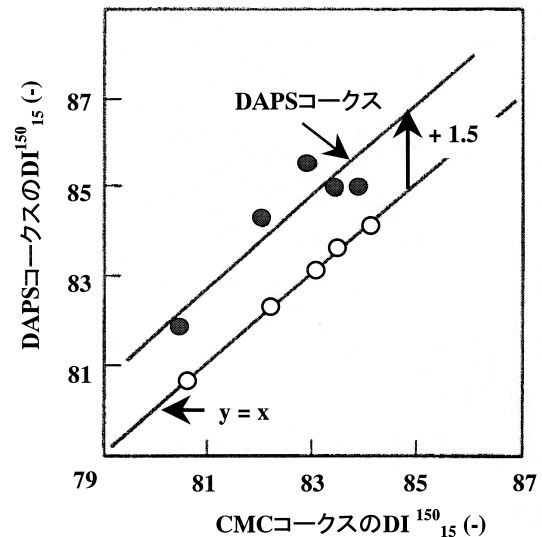


図11 DAPSプロセスによる DI^{150}_{15} 向上効果

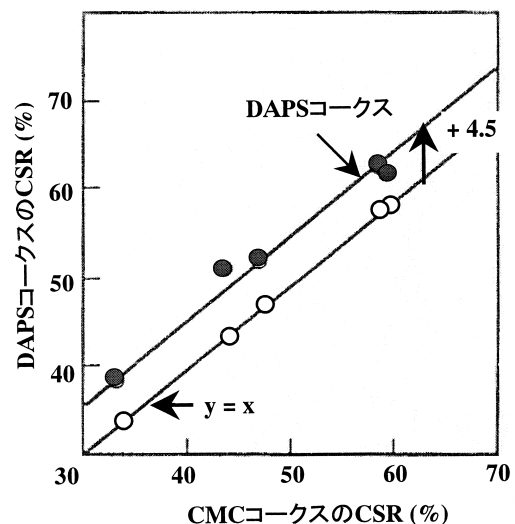


図12 DAPSプロセスによるCSR向上効果

子間接着強度の向上効果

実炉試験によって、DAPSプロセスで製造したコークスの気孔率をCMCプロセスのコークスの気孔率を比較した結果、DAPSプロセスではCMCプロセスに比べて石炭の装入密度が上昇するため、コークスの気孔率が約3%低下する。その結果、DAPSプロセスでは石炭の装入密度の上昇に伴って石炭粒子間距離が短縮されるため、石炭粒子間の接着強度が向上する。

②コークスのCO₂反応性の低下によるCSRの向上効果

DAPSプロセスで製造したコークスのCSRの向上要因は、CRI（コークスとCO₂の反応性を表す指標）の低下、およびコークスのドラム強度の向上によるものである⁹⁾。熱天秤により、DAPSプロセスで製造したコークスのCO₂反応性を調べた結果、DAPSコークスはCMCコークスに比べてCO₂反応率が低いことがわかった（図13）^{1,2)}。

DAPSプロセスの適用によって、コークス強度が同一の条件下で非微粘結炭の使用比率を湿炭プロセスに比べて30%、CMCプロセスに比べて約20%上昇させることが可能である（図14）^{1,2)}。

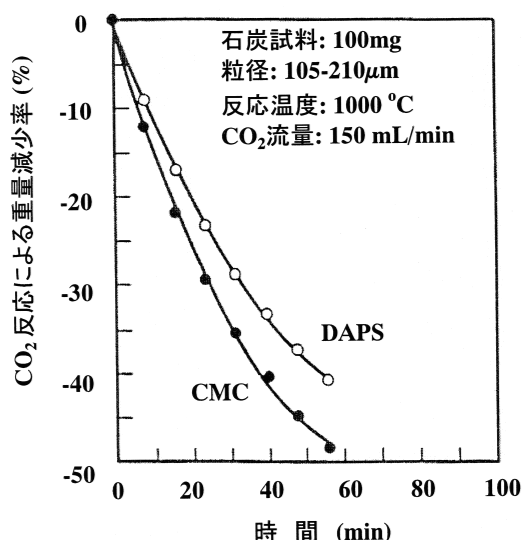


図13 DAPSコークスとCMCコークスのCO₂反応性の比較

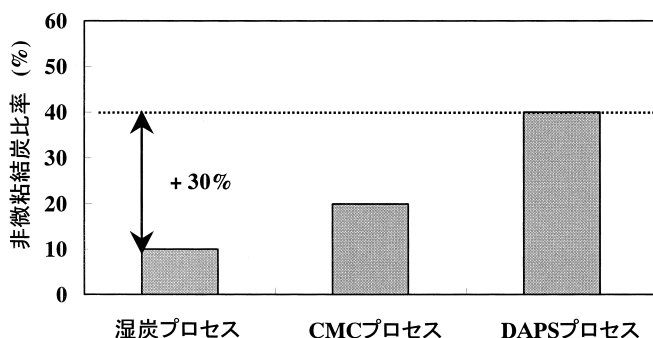


図14 非微粘結炭使用比率の比較

4.4 コークス生産性向上効果および省エネルギー効果^{4,5)}

DAPSプロセスによる石炭の装入密度は約0.8t/m³であり、石炭水分低下による乾留時間の短縮効果と合わせて、湿炭操業に比べて21%の生産性向上がある⁵⁾。

DAPSプロセスはCMCプロセスに比べて石炭水分を低下させることが可能であり、かつ生産性が高いことから、コークス炉における石炭の乾留熱量を低減する効果がある。コークスの生産量が同一の場合、コークスの製造に必要な乾留熱量は、石炭1tに対して約110 Mcal削減され、湿炭操業に比べて約15%の省エネルギー効果があることが報告されている（図14）⁵⁾。

5 おわりに

微粉炭の塊成化技術による新しいコークス製造プロセス（DAPS）が開発され、1992年に新日本製鐵（株）大分製鐵所で実機化された。本技術は、石炭資源の有効利用、および省エネルギーに大きく貢献する技術である。本技術の基礎研究から、第1号機の実機化までに約13年間の歳月を要し、現在では「DAPSプロセス」という名称で世界的に幅広く知られる技術となっている。近い将来に、さらに石炭資源中の良質な粘結炭が逼迫することが予測される。本技術のように、研究開発の原点に立ち返り、石炭資源の有効利用及び省エネルギーに大きく貢献する技術開発が益々活発に行われることを期待している。

参考文献

- 1) Y. Nakashima, S. Mochizuki, S. Ito, K. Nakagawa, K. Nishimoto and K. Kobayashi : Proc. 2nd International Cokemaking Congress, London, (1992), 518.
- 2) S. Tanaka, K. Okanishi, A. Kikuchi and Y. Yamamura : AIME 56th Ironmaking Conference Proceedings, Warrendale, (1997), 139.
- 3) S. Wakuri, M. Ohno, K. Hosokawa, K. Nakagawa,

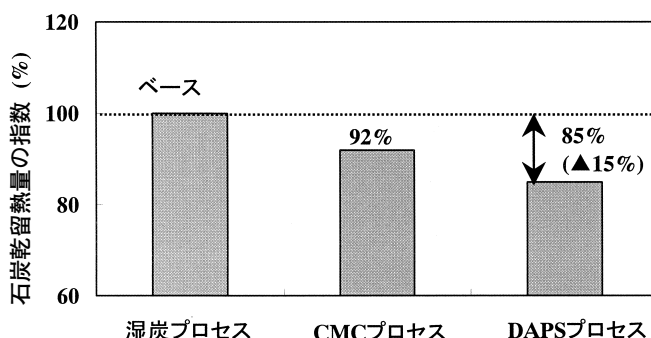


図15 エネルギー使用量の比較

- Y Takanohashi, T. Ohnishi, K. Kushioka and Y. Konno : AIME. 45th Ironmaking Conference Proceedings, Warrendale, (1986), 303.
- 4) S. Itoh, T. Sanada, S. Tanaka, K. Nakagawa, Y. Yamamura, K. Nakano and Y. Nakagawa : CAMP-ISIJ, 7 (1994), 115.
- 5) K. Okanishi and S. Itoh : CAMP-ISIJ, 7 (1994), 986.
- 6) 山口徳二, 小林勝明, 美浦義明, 原久典 : 第74回コークス特別会予稿集, 東京, (1983), 64.
- 7) K. Kobayashi, T. Yamaguchi and T. Okuhara : Tetsu-to-Hagané, 71 (1985), S841.
- 8) K. Kobayashi, T. Yamaguchi and T. Okuhara : Tetsu-to-Hagané, 71 (1985), S842.
- 9) Y. Nakashima and Y. Yamamura : Tetsu-to-Hagané, 73 (1987), S796.
- (2004年8月20日受付)