

オブジェクト指向的な焼結操業総合管理システムの開発と適用

Development and Application of Object-oriented Comprehensive Control System for Sintering Operation

長根利弘⁽¹⁾
Toshihiro
NAGANE

山本博⁽²⁾
Hiroshi
YAMAMOTO

芳我徹三⁽³⁾
Tetsuzo HAGA

山口晃⁽⁴⁾
Akira
YAMAGUCHI

姫野文一⁽⁵⁾
Bunichi HIMENO

三原誠⁽⁶⁾
Makoto MIHARA

抄 録

大分製鐵所製鉄原料工場第一、二焼結機において、オブジェクト指向的な焼結操業総合管理システムを開発した。従来型のAI(人工知能)操業管理システムに比べ、プログラムの小型化、簡素化が可能となり、焼結工程全体を網羅する操業管理システムが実現できた。更に、メンテナンス性の大幅な改善、システム作成から完成までの工期の短縮、システム稼働率の高位安定性が達成できた。また、本システムの導入により、焼結歩留の向上、COG原単位の低減などの操業改善及び3交代作業の合理化を達成した。

Abstract

An object-oriented comprehensive control system for sintering operation of No.1 and No.2 sintering plants in Oita Works has been developed. Comparing with a traditional AI (artificial intelligence) operation control system, the program has been able to be miniaturized and simplified, and an operation control system comprehending all sintering processes has been realized. Furthermore, a sharp improvement in maintainability, a shortening of the term of works from system design to system start, and a high stability of the system's operating ratio have been attained. By introducing this system, some improvements in the operation such as increasing in the yield of sintered ore, decreasing in the unit consumption of COG and so have been also attained together with the rationalization of three-shift duty.

1. 緒 言

製鉄工程における制御システムには知識工学を適用したものが多く、高炉の操業管理システムに代表されるように、ファジィ、ニューラルネット、エキスパートシステム等を組み合わせたものが利用されている¹⁻³⁾。製鉄工程で知識工学が適用された理由としては、原燃料のロット間ばらつきや大気湿度の変動などの外乱が大きいこと、工程内の温度レベルが高く正確な測定が困難であること、工程制御上のむだ時間が非常に大きいこと、更に物理現象と化学現象が複雑に交絡していることなどが挙げられる。

このような経緯で、従来開発されてきたAI操業管理システムは、熟練工の知識を集約し、思考フローをそのままシステム化したものが一般的である。しかし、この方法では、システム構成が複雑となりプログラム規模も非常に大きなものになりがちである。特に、焼結工程は、輸送、ビンレベル管理、混合造粒、偏析装入、点火、焼成、整粒等の数種類の工程の集合体であるため、工程全体を

網羅した総合型の管理システムを作成しようとする、必然的に大規模なものとなる傾向にある。

更に、システムが複雑化し大規模化するに伴い、メンテナンス性は指数関数的に悪化する。このため、操業管理システムの内容が、新技術の開発に伴う設備条件の変化や操業環境の変化などに追従できず、時代の流れとともに陳腐化する懸念がある。

これらの問題認識から、制御精度を維持したままシステム構造自体が簡素化でき、メンテナンス性が改善し得る新しいAI操業管理システムの開発が望まれていた。そこで、今回、オブジェクト指向的な分散型の焼結操業総合管理システムを開発し、大分製鐵所第一、二焼結工場において実機適用を行った。

2. 知識工学の焼結プロセスへの適用

2.1 焼結プロセスと従来の操業管理システム

図1に焼結鉄製造プロセスの全体概要を示す。焼結原料には、主原料である鉄鉱石、成分調整のための副原料、燃料としての粉コー

⁽¹⁾ 大分製鐵所 製鉄部
⁽²⁾ 大分製鐵所 製鉄部 掛長
⁽³⁾ 大分製鐵所 製鉄部 製鉄原料工場長

⁽⁴⁾ 大分製鐵所 設備部 掛長
⁽⁵⁾ 大分製鐵所 設備部
⁽⁶⁾ (株)日鉄エレクトックス 北九州システムセンター 部長

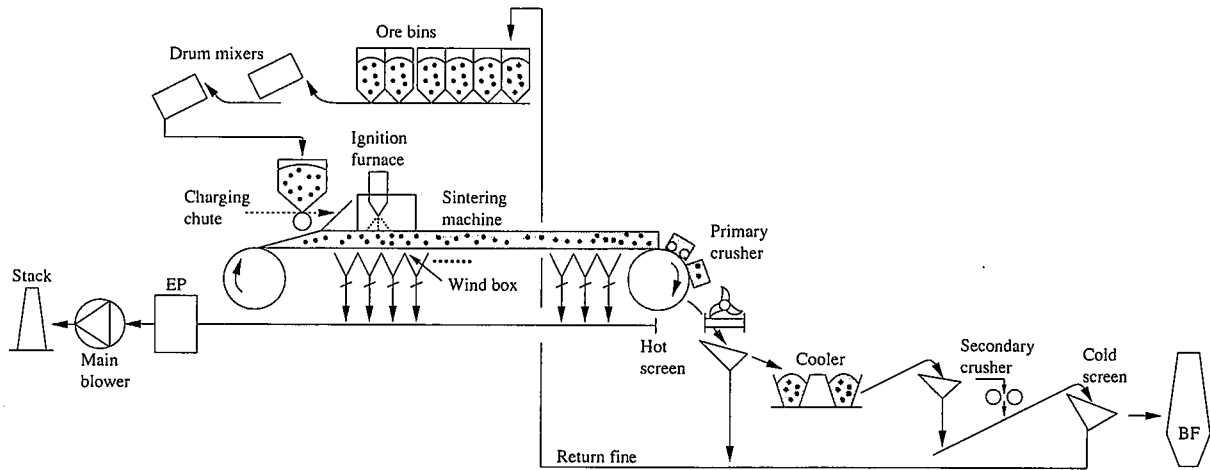


図 1 焼結工場の工程図

クス、更には一度焼成されて規格外となった焼結鉱(返鉱)が使用される。これらの焼結原料は、ドラムミキサーで混合、造粒された後に、焼結機上に偏析装入される。その後、装入された焼結原料は、点火炉で表面に着火され、下方に吸引した空気で粉コークスを連続的に燃焼させ、焼結原料の一部が溶融することによって粒子間結合が行われ焼結ケーキとなる。

このように焼結機内では、燃焼、溶融、凝固、冷却が上層部から下層部にかけて連続的に行われる。焼結ケーキは、焼結機最下端部まで焼成が完了した後に、破砕機と分級機によって整粒される。整粒後の成品は、焼結鉱として高炉へ送られ、規格外となった微粉部分は焼結原料として再度使用される。

焼結プロセスの変動の要因の一つは返鉱の使用である。この返鉱の性状は、主原料である鉄鉱石の性状と異なるばかりでなく、焼成時の状態や冷却及び整粒という工程の状態により常時変動している。このため、焼成工程はこの返鉱の使用により、過去の焼成状態の影響が常時フィードバックされるため、工程としての安定性に乏しく、工程制御におけるむだ時間も非常に長い。

この他の変動要因としては、主原料の粒度分布、化学組成及び水分が時間変動することや、焼結原料装入時の層高方向の粒度偏析が、幅方向及び機長方向で変動することなどが挙げられる。このような焼結原料条件の変動は、焼結反応の変動要因となり、結果として得られる焼結鉱の歩留や品質の変動を引き起こすことになる。

このように複雑な挙動を示す焼結プロセスでの操業管理システムとして、これまで、知識工学、特にエキスパートシステムやファジ理論を導入した一括管理指向型のAI操業管理システムが構築され、操業安定に大きく貢献してきた。一方、焼結工程における劣質安価原料の多量使用や焼結鉱への要求品質の変化など焼結操業を取巻く状況がここ数年で大きく変化し、焼結操業方法も変化している中で、操業管理システムにもこのような状況の変化に応じ得る柔軟性が要求されている。ところが、従来のAI操業管理システムは、複雑で巨大なシステム構成ゆえに迅速なシステム改造を行うことが非常に困難であり、柔軟性に欠けることから、システムの基本構造を抜本的に見直し、状況変化に即応できる構造とする必要があった。

2.2 本システムの基本設計

本システムでは、柔軟性に富んだシステムの構築と現場での使い

やすさを狙いとして、次の8項目を設計方針とした。

- 1) 制御目的の簡潔化及び操業アクション判断フローの可視化
- 2) 知識ベース、操業データ評価部の簡素化
- 3) 制御の専門家ではない操業者自身が、容易にシステムのメンテナンスができること
- 4) 変動や外乱に対する制御の頑健性の確保
- 5) 操業管理システムの長期安定の高稼働率の確保
- 6) 操業管理システムのチューニング作業の迅速化
- 7) プログラム製作工期の短縮
- 8) 焼結プロセス全体を網羅していること

以上の設計方針に従って、基本システム構成を設計した。それは従来の操業管理システムと比較して、以下の4項目が特徴である。

- 1) 一括管理型のトップダウン方式から分散型のオブジェクト指向方式への変更
- 2) 操業評価部と知識ベース部の分離独立
- 3) 操業評価部の構造のパーツ化
- 4) オンラインメンテナンスシステムの付加

3. 焼結操業総合管理システムの特徴

3.1 オブジェクト指向的な操業管理システムの採用

表1は、本システムのルール構成を示す。分散型のオブジェクト指向方式とした本システムは、7個の知識ベースを持っており、それぞれ独立したオブジェクトになっている。各知識ベースオブジェクトは、それぞれ複数のルール群で構成され、全体で25のルール群を有している。各ルール群は、操業データ評価部と推論部で構成されている。本システムにおけるこれらの情報の処理フローを図2に示す。

また、各知識ベースオブジェクトの目的は以下のものである。

- (1) 焼成関連：原料装入から排鉱までを範囲とした、焼成状態の最適化を行う。
- (2) 品質関連：焼結鉱の品質を制御し、ばらつきを抑制する。
- (3) 返鉱関連：焼成の変動を防止するために、返鉱配合量の調整に関する制御を行う。
- (4) 生産関連：焼結鉱生産量の調整及び計画、製造コストの評価などの焼結操業全体の調整を行う。

表 1 システムのルール構成

	Control objects	Rule groups		Number of rules
		Automatic control	Semi-auto control	
1	Sintering	2	4	1 528
2	Quality	0	8	692
3	Return fine	1	1	513
4	Production	0	3	1 122
5	Blend-ore pile change	0	2	445
6	Product sizing	0	2	330
7	Heavy rainfall	0	2	491
	Total	3	22	5 121

値、評価関数をCRT上で設定変更が可能にしました。このシステム構成の特徴を図3に示す。この方式の採用により、熟練オペレータ自身が教師となり、簡単にシステムへ学習させることが可能となり、操業条件の新しい変化に柔軟に対応できるようになった。また、この評価フローを利用し、現場教育への活用も可能となった。なお、プログラミングの省力化、チューニングやシステムのメンテナンス作業の簡素化を考慮して、学習機能の自動化は導入せず、ルール適用率の集計だけを行う機能に限定した。

3.3 操業評価部のパーツ化

操業評価部の特徴としては、操業データの評価構造をニューラルネットのようなブラックボックス的なものではなく、評価ステップ

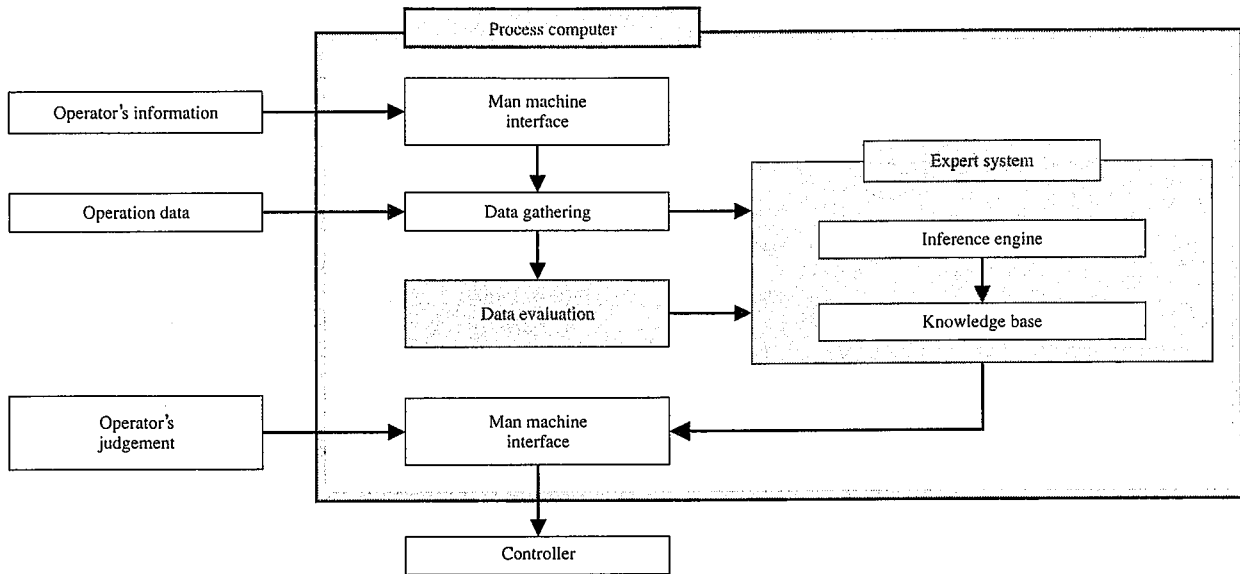


図 2 システムの情報処理フロー

- (5)均鉦パイル変更関連：均鉦パイル変更時の焼結原料槽の切り替え、配合変更、焼成の変動防止を行う。
- (6)篩網管理：整粒工程の監視、調整を行う。
- (7)異常操業時操業管理：大雨時の操業変動を抑制する。

この分散型システムの採用により、ルール群内のプログラム数やメンテナンス範囲を極力小さなものにすることが可能となり、メンテナンス性の向上やルールの精度向上への迅速な対応、システムの故障率の低減が可能となった。

また、各オブジェクトごとにプログラム作成者を専任させることで、熟練者の知識をより正確に反映させることができた。更に、プログラム作成が同時並行で行えるため製作工程の短縮にも寄与できた。

一方、オブジェクト指向的な分散型システムの問題点としては、複数のオブジェクトやルール群が並列起動した場合の相互間の調整が難しいことが挙げられる。これに対しては、各オブジェクト、ルール群のアクション採用優先順位の設定や同時並列起動の制約条件の設定で対処することで解決した。なお、これらは使いやすさを考慮し、画面上で設定変更可能とした。

3.2 操業評価部と知識ベース部の分離独立

本システムのもう一つの大きな特徴は、操業評価部を知識ベース部から独立させたことである。これにより、操業評価構造の流れをオペレーターに開示することが可能となった。更に評価のしきい

値が明瞭となるようにパーツ化したことで、プログラム製作、チューニングの工程を著しく短縮することができた。具体的には、図4に示すように、操業データは2個1組ずつでしきい値評価され、そのしきい値評価を2個ずつ組み合わせて、次の評価を行う。これを繰り返すことにより、最終的に一つの評価に集約されるという、一種のトーナメント方式の評価構造になっている。

一方、評価関数には、回帰式を利用した連続線形関数や確率変数を介した、いわゆるファジイ関数を用いず、最も単純な整数を採用した。この理由は、焼結プロセス自体の非常に大きい変動に対して、頑健性を持たせるためである。更にこれは、CRT表示された中間評価結果をできる限り平易な表現にして理解しやすくするという目的にも合致する。

3.4 オンラインメンテナンス機能の設定

操業管理システムのメンテナンスを行う時に、プログラム整備の専門家を必要とせず、操業者自身が現場で容易に可能なものとするために、以下のような操業モードを設定した。この操業モードの選択は25個のルール群ごとに設定可能である。

(1)全自動モード

オペレーターが介入せず、操業管理システムが判断した操業アクションに従って自動的に制御を行う。通常はこのモードで使用する。

(2)半自動モード

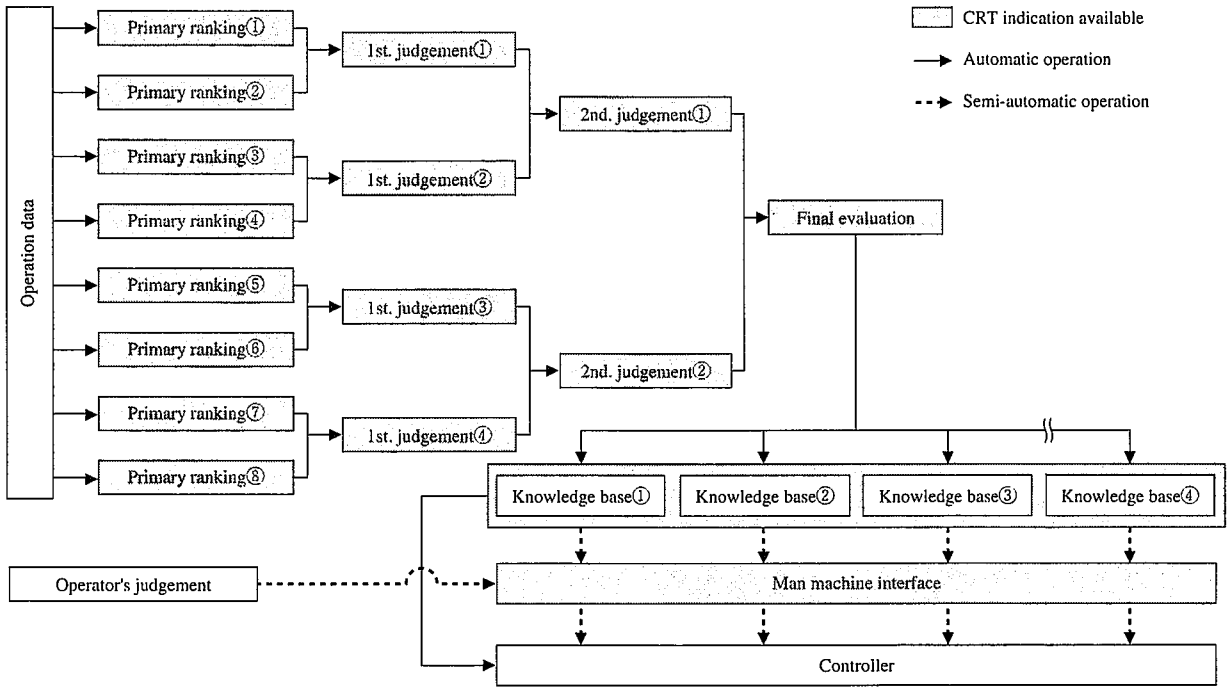


図 3 システムのプログラム構成

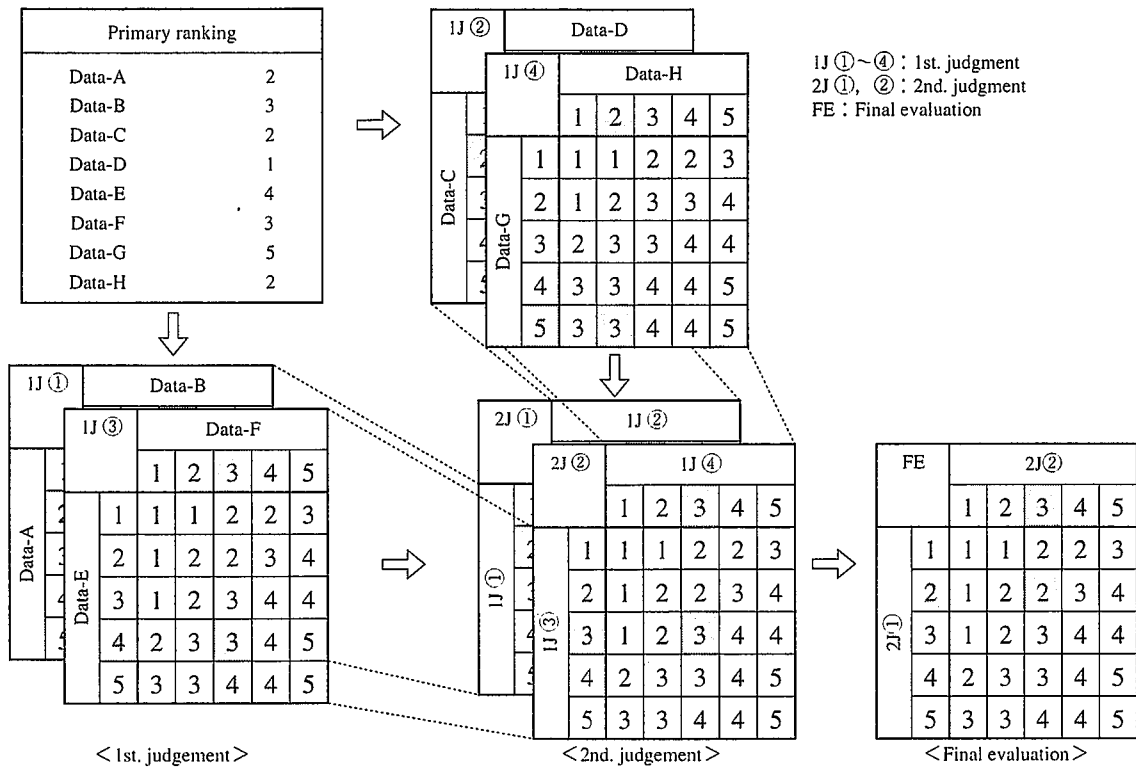


図 4 操業データの評価フローの例

操業管理システムが提示した操業アクションがCRT上に出され、オペレーターがそのアクションの実行可否を判断する。非常に重要なアクションを実施する場合や、操業評価部や知識ベース部のチューニング時に使用する。

(3) 確認モード

半自動モードとCRT出力までは同一であるが、電気制御系とは

切り離した状態となっている。知識ベースの大幅な改造時のオンラインテスト用モードとして使用する。シミュレーション機能としても使用できる。

この外に、知識ベースのメンテナンス専用マシンを現場に設置することで、オペレーター自身によるタイムリーなメンテナンスが可能となった。

4. 操業管理システム適用の効果

本焼結操業総合管理システムを大分製鐵所第一、二焼結機(1, 2DL)に導入したことにより、焼結操業の安定化が実現できた。その結果を図5に示すが、焼結鉬の歩留や点火燃料であるCOG原単位の改善を図ることができた。焼結鉬品質のばらつきも低減された。更に、図6は本システム稼働開始後の操業モードの推移を示すが、全自動モードの設定比率は速やかに上昇し、稼働開始後5か月目で、オペレーターのアクション介入機会を約70%低減することができた。また、操業判断及び操業全体調整をすべてシステム化することで、3交代作業長の合理化を達成した。

システム製作期間についても、オブジェクト指向の導入や操業評価部の知識ベース部からの独立とパーツ化の実施などにより、当初計画の18か月から12か月に短縮することができた。更に、立上げ以降のチューニングの迅速化の効果を図7、8に示すが、約5か月で、操業者の判断に対するルールの中率は90%以上を達成し、更に全操業アクションに占める本システムのルール適用率は約80%に到達した。

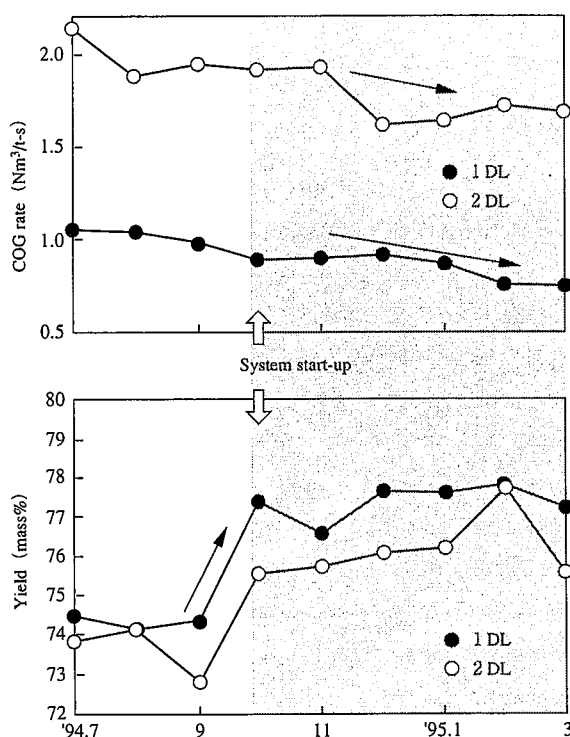


図5 大分製鐵所第一、二焼結工場の操業結果

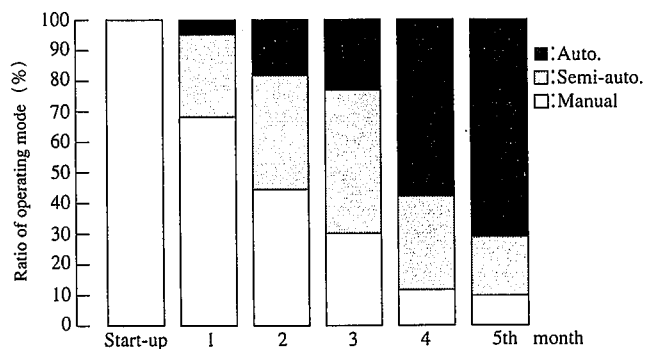


図6 システムの利用によるオペレーター介入機会の減少

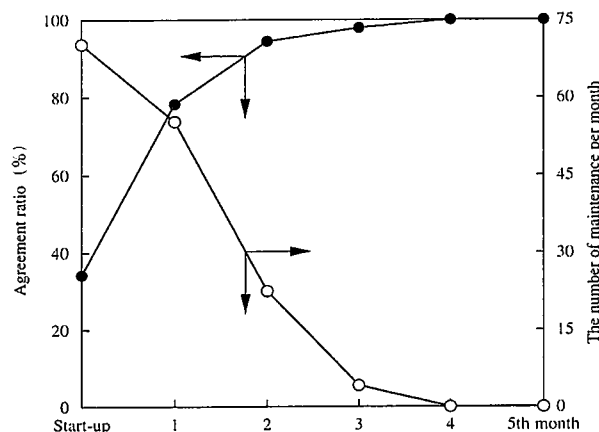


図7 的中率とメンテナンス回数の変遷

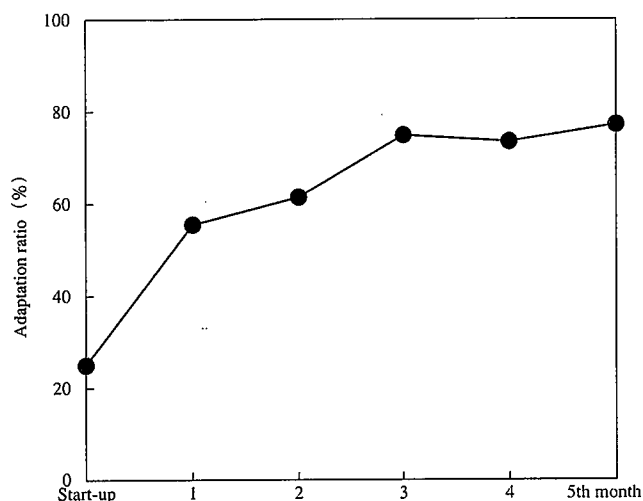


図8 適用率の変遷

5. 結 言

大分製鐵所第一、二焼結工場に導入した焼結操業総合管理システムの特徴と効果について述べた。このシステムの特徴として、(1)分散型システムの採用、(2)目的指向型フローの採用、(3)評価構造の簡素化とパターン化が挙げられる。この効果として、メンテナンス性の向上、システム製作期間の短縮及び長期安定的高稼働率の達成など多くの実用的メリットを享受することができた。

参考文献

- 1) 松田浩一, 田村直樹, 能勢和夫, 野田俊, 大方敏仁, 大鈴克二: 鉄と鋼. 78 (7), 1045 (1992)
- 2) 大貝晴俊: 人工知能. 9(2), 45 (1994)
- 3) 平田達朗, 山村耕造, 森本忍, 高田寛: 計装. 33(3), 27 (1990)