

Effective Operation of Energy Facilities by New Controlling Method



荻野 哲

Satoshi Ogino

千葉製鉄所 環境・エネルギー部エネルギー技術室



香月 泰弘

Yasuhiro Katsuki

千葉製鉄所 環境・エネルギー部動力課 主任部員(掛長)



天野 忍

Shinobu Amano

千葉製鉄所 企画部企画室 主査(課長)

要旨

千葉製鉄所では、製鋼・熱延設備のリブレースを伴う、主要設備の西工場への集約が行われた。この間、生産設備の連続化、同期化が推進され、変動するエネルギーを効率的に制御することが重要な課題となっていた。これに対応し、分散しているエネルギー設備の運転制御室を一制御所に統合して、生産設備の運転情報をリアルタイムに収集し、エネルギー設備を需給予測をもとに直接管制できるシステムを構築した。これにより、エネルギー需給の効率化と、設備の運転効率の向上を実現した。

Synopsis:

For centralization of main facilities in West Plant, Chiba Works, a new steelmaking plant and a hot strip mill were constructed in the plant in 1995. During the construction period, continuation and synchronization of steelmaking processes necessitated stabilization of variable energy supply and demand and it became an important subject to efficiently control fluctuating amount of energy. Under these circumstances, several energy control centers for each energy facilities have been united to one place, equipped with a newly developed energy system, which utilizes realtime data from iron and steel production facilities. Moreover, this new system enables energy facilities, such as power plants and O₂ generating plants, to operate on prediction of future energy supply and demand, realizing an efficient operation.

1 緒 言

千葉製鉄所では、薄鋼板を主力とする世界最強の製鉄所を目指し、西工場に主要な設備を集約すべく新製鋼工場、新熱延工場建設を行ってきた。新製鋼工場においては溶融還元を主体としたステンレスプロセスの導入、新熱延工場においては薄物の圧延に対応したエンドレス圧延などの革新的な技術が導入されている。この結果、工程の連続化、同期化による飛躍的な生産性向上が実現した。これらの新設備を支援するエネルギー設備においても、分散した制御室を統合して、発電所・酸素工場などのエネルギー設備の操業範囲やホルダーなどのバッファー設備の容量を考慮した、効率的な需給システムの構築が急務となっていた。新たに開発したエネルギー需給予測制御システムは、80～150 MW級の4基の発電所、25～30 kNm³/h級の4基の酸素工場、6高炉送風機、水処理設備の運転制御、および燃料、酸素、蒸気の需給管制機能を一制御所に集中し、CRT画面による監視操作により少人数操業を可能とした。さらに、製鋼工場、熱延工場のプロセスコンピューターとリンクすることによりエネルギー需給の的確な予測を行い、この結果に基づき直接的に発電所、酸素工場の負荷変更を可能とし、エネルギー需給と操業の効率化を実現した。本報ではこのエネルギーシステムの機能構成と、効果について報告する。

2 製鉄所におけるエネルギー需給

千葉製鉄所におけるエネルギーフローをFig. 1に示す。石炭は製鉄工程、製鋼工程において鉄の還元利用されるとともにその熱量の46%が副生ガスとして回収される。回収された副生ガスは28%が加熱用として各製鉄プロセスで利用され、18%が発電所で電力に転換される。発電した電力は主に圧延工程用や製鋼工程で必要とされる酸素、窒素発生用に利用される。つまり、製鉄所は鉄鉱石を溶融還元し副生ガスを発生する上工程、副生ガス、電力を利用し鉄を加工する下工程および発生するエネルギーを転換し各部門へ供給する発電所や酸素設備などのエネルギー設備からなる。工程の連続化や同期化が進むと一部の生産設備の運転停止が製鉄所内全工程に影響を及ぼすようになり、エネルギー需給バランスも大きく変動する。特に製鋼工程は処理が非連続的であること、多量の酸素(約50 Nm³/t)を間欠的に使用すること、転炉ガスや蒸気の発生設備であることなどから、エネルギー需給に与える影響が大きい。こうした状況下において、エネルギーシステムが単なるガイダンス機能に留まらず、運転員の判断を補完してエネルギー設備の操業を行うためには、次のような機能が要求される。

- (1) 設備稼働予定を基にしたエネルギーの需給予測を的確に行う。
- (2) エネルギーの需給予測をもとに使用先にエネルギーを過不足なく供給する。
- (3) エネルギー設備の操業範囲(負荷変化率、時定数など)を考慮した操業指令を出す。

* 平成8年11月11日原稿受付

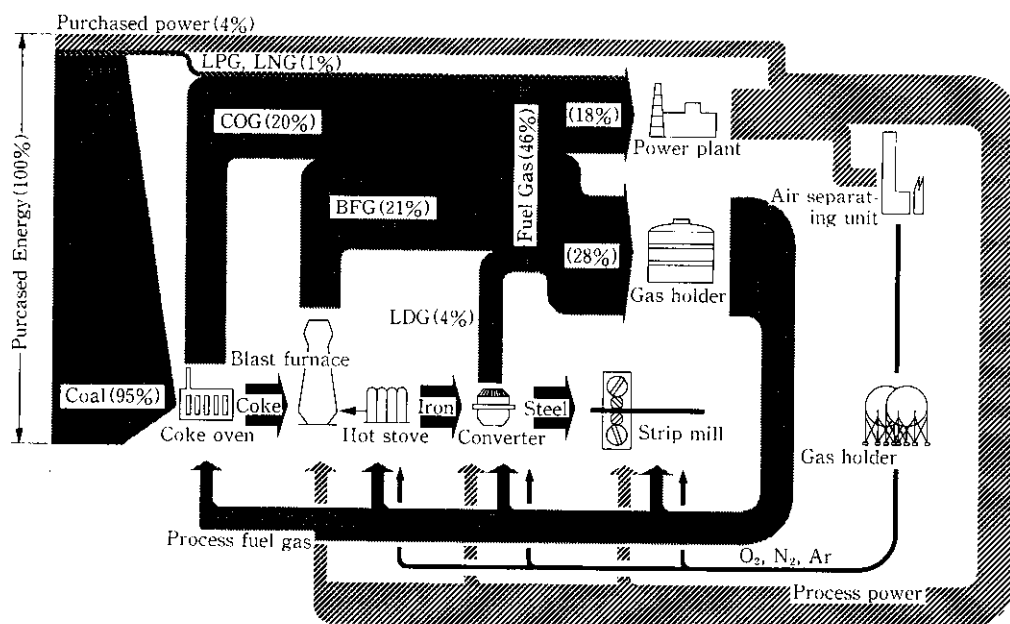


Fig. 1 Energy flow of Chiba Works

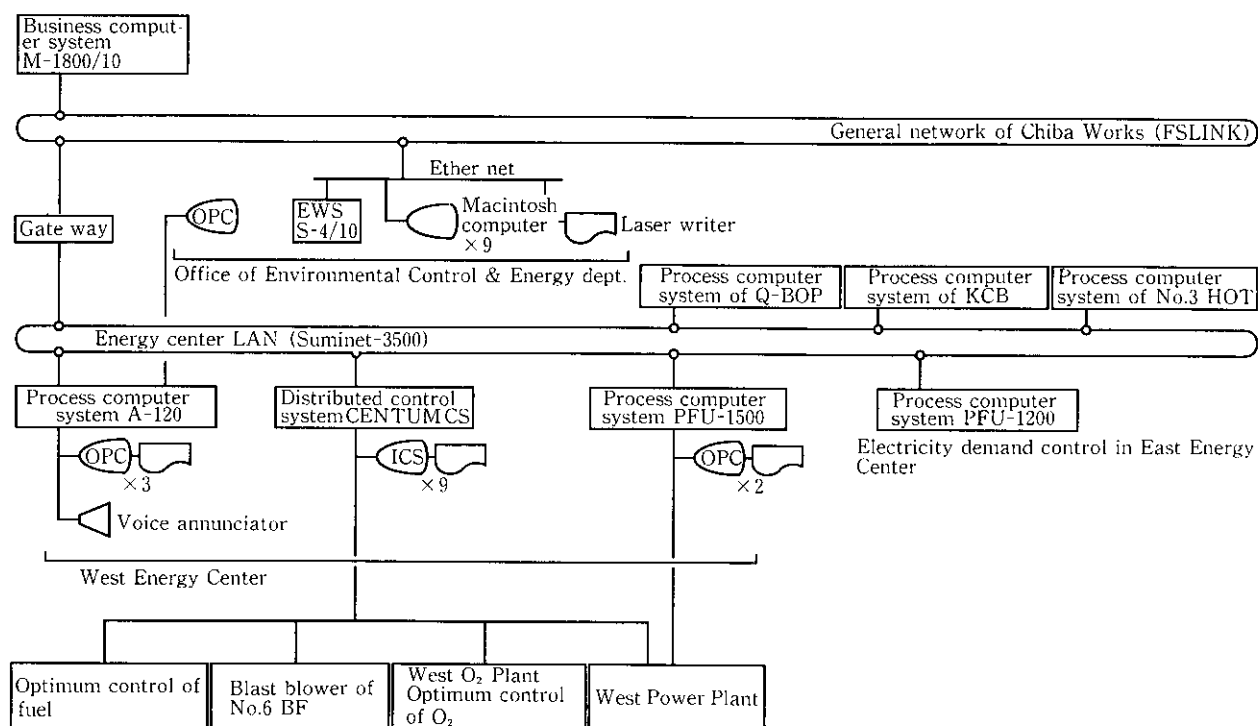


Fig. 2 Equipment composition of energy system

(4) 需給予測と実績の偏差を適正に修正する機能を持つ。

従来のエネルギーシステムは、設備の稼動予定をオペレータがハンドインプットし、これに基づく静的な需給バランスをガイダンスする例がほとんどであり、システムの導出した運転負荷に基づいた操業を行う場合も発電所への適用が行われている例¹⁴⁾が報告されているに過ぎない。今回のシステムは、各ラインとエネルギーシステムとを直結させることにより情報の信頼性を飛躍的に高め、需給変動に対する応答と予測の精度を向上させることにより、需給予測をもとに直接的に発電所、酸素工場の負荷変更を行うことに成功した。

3 新エネルギーシステムの機能と構成

3.1 全体構成

新しいエネルギーシステムは、ビジネスコンピュータシステム(B/C)、プロセスコンピュータシステム(P/C)、計装システム(DCS)の3システムより構成されている。

Fig. 2にシステムのハードウェア構成を示す。B/Cは、場内全域に配置されたパーソナルコンピュータ端末から随時アクセスするこ

とができる。また、既設西発電所場内に P/C 端末 (operator console: OPC) を 5 台、計装システム端末 (information command station: ICS) 9 台を集積した新エネルギーセンターを建設し、本制御室にて場内のエネルギー設備のほとんどをカバーできるようにした。マンマシンインターフェースとして OPC はマウス操作、ICS はタッチパネルを採用して操作負荷の軽減を図るとともに、大画面 TV、電光掲示板、ボイスアナウンスエータの採用により重要度、専門性に応じて室内オペレータの個別、グループ別、全員への段階的なガイダンスを提供できるように考慮されている。

3.2 個別システムの機能

エネルギーシステムを構成する各階層別の機能を Table 1 に、システムを構成する各機能別の関連を Fig. 3 に示す。本システムは、リアルタイムに伝送されてくる高炉、製鋼工場の稼働状況、場内各工場の稼働計画をもとに燃料ガス、蒸気、酸素などエネルギー用役の計画をたてる予測機能、発電所、ガスホルダ、酸素工場の負荷配分、設定をおこなう制御機能の 2 つを骨子としており、既存システムでは B/C の機能分野であった予測機能を P/C に移譲する形でのダウンサイジングが図られ、制御の応答性、拡張性を確保している。

3.2.1 B/C システムの機能

B/C システムは、製鉄所の生産管理、月間の稼働計画の立案、設備稼働の実績情報の集積が主な機能である。従来の B/C、P/C システムの主機能の一つであった帳票機能、実績の解析評価機能、エネルギーバランスの検討機能は、場内各所に配置されたパーソナルコンピュータに移譲し、B/C はデータの保持、およびエンジニアリングワークステーション (EWS) を介してパーソナルコンピュータへデータを提供する管理システムとしての機能に特化している。製鉄所内各設備の用役使用量、エネルギー設備の操作データ (圧力、温度、レベル、起動回数、運転時間など) は、1 時間値、5 分値を

最短 3 ヶ月間累積している。本データは B/C 内部で設備単位、用役単位に仕訳し、原価システムへ渡して原価計算、費用請求をオンラインで行っている。

Table 1 Purpose of energy system

System	Purpose	
Business computer system (B/C)	Management of actual energy data	1. Making the system journalizing 2. Annual planning
	Short range planning (monthly, weekly)	1. Balancing energy supply and demand by process arrangement 2. Saving energy cost by using cheaper night energy 3. Balancing energy supply and demand by using gas-holder and steam accumulator
Process computer system (P/C)	Monitoring and stabilizing of energy plant	1. Stabilizing energy supply and demand 2. Saving man power, energy, cost, and space
Distributed control system (DCS)	Operation of Electric power demand O ₂ plant Blast blower	1. Improving accurate and simple operation 2. Auto control of energy plant

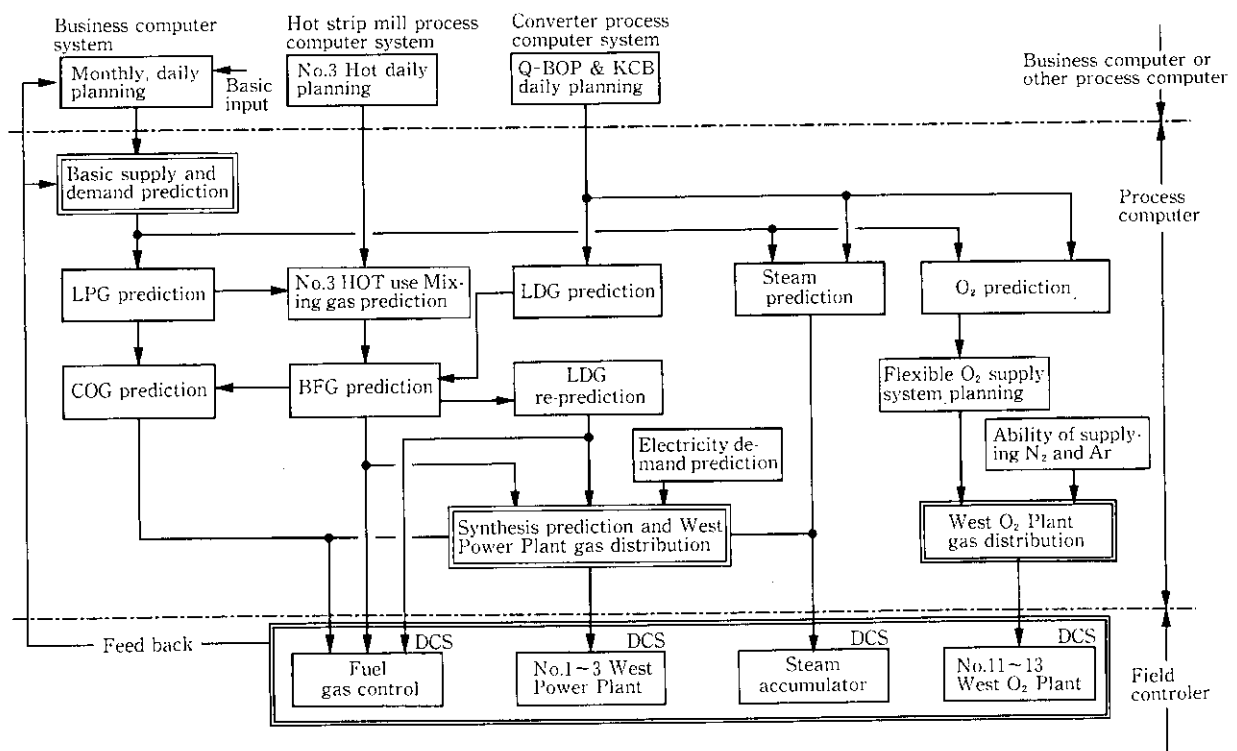


Fig. 3 Subsystem flow of energy planning system

3.2.2 P/Cシステムの機能

P/Cシステムは、今回のリフレッシュにより大幅に機能強化され、従来のエネルギー需給調整のためのガイダンス機能に加え、製鋼P/Cと直結して製鋼が溶銑装入、吹錬開始、吹錬終了のイベントを起こすたびに需給判断を行うことができるようになった。主要な機能をまとめると以下になる。

(1) 発生・使用量集計

製鉄所内の各ラインの稼動計画は、週間単位のデータをB/Cが、日間の稼動計画を各ラインのP/Cが保持、管理している。これらの情報を最短10 min周期で取得し、各用役の原単位を掛け合わせてガス発生・使用の基本的な予測データを作成する。

(2) 副生ガス需給制御および発電所負荷制御

所内副生ガス（BFG, COG, LDG, 混合ガス）の発生・使用量の予測を行い、ガスホルダによる昼夜間運用および発電所燃料使用量を考慮した需給変動の平滑化を行う。上記副生ガス需給予測、および蒸気需給予測、電力契約から発電所のLPG使用量および発電所の負荷を決定する。

(3) 蒸気需給制御

場内排熱ボイラの蒸気発生、および製鋼脱ガス工程などの使用量予測から蒸気アキュムレータを用いた需給バランスの平滑化を行い、場内の需給バランスを予測して、不足がある場合は発電所から蒸気を送給する量を決定する。

(4) 酸素需給予測および酸素プラント負荷制御

製鋼の吹錬予測から酸素、窒素、アルゴン要求量を算出し、いずれのガスについても需要を満足するプラント負荷を決定する。負荷配分を行う際には各酸素プラントの負荷変更後安定するまでの時間（負荷変更制限時間）、現状負荷の組み合わせから最も分散の少ないケースを選定する。

(5) 電力需給予測

自家発電量と所内使用量から電力の需給バランス予測を行い、使用量が多すぎる場合は警報を発する。

(6) 制御出力

以上の予測機能により計画された各操作端の制御出力をDCSに伝送し、DCS内部の自動シーケンスによってプラントを自動負荷変更させる。また、同シーケンスの実行状況を監視し、実績データを収集してエネルギー設備稼動計画の自動修正を行う。

3.2.3 計装システムの機能

計装システムは、従来直立盤によって運転されていたエネルギー設備を順次DCS化し、西発電所、6高炉送風機、西酸素工場などの西工場に配置する設備のほとんどについてDCSオペレーションによる遠隔、自動運転を実現している。特に1996年にリフレッシュが完了した西酸素工場（11～13号酸素設備）は、3基のプラントの全制御機能をDCSが受け持ち、自動起動、自動操業変更、および液化ガスの自動払出を行っている。

計装システムの主な機能増強内容を下記に示す。

(1) 発電所バーナ自動点消火

ボイラ火炉の差圧に合わせバーナ本数の増減を自動で行う。また、初期点火、最終消火の手順をオペレータ指示により自動で行う。

(2) 西発電所出力制御

ボイラ燃焼ガスのうち一つをマスターガス、残りをスレーブガスとし、マスターガスの流量制御値にタービン出力をカスケード結合して、タービン出力を一定に保持する。

(3) 西酸素工場の自動負荷変更

酸素または窒素の要求量を与えるだけで、原料空気圧縮機お

よび精溜筒還流液量を調整し、純度基準を守りながら負荷変更を行う。

(4) 液体酸素、液体窒素気化器の自動送給

P/Cからの指令により、気化器用ポンプの自動予冷、起動、送給をシーケンシャルに行う。

4 システムの特徴

エネルギーシステムの需給変動予測の精度向上対策と需給制御機能のレベルアップ内容について以下に示す。

4.1 需給予測精度の向上対策

4.1.1 製鋼・熱延工場

需給変動の大きな製鋼・熱延設備については、各工場のP/Cシステムとリンクし稼動計画情報をリアルタイムで収集することにより需給予測の精度と応答性を向上させた。さらに、誤入力情報の自動廃棄を行ったり、設備の稼動停止により変動が大きな用役（例：製鋼における酸素）の使用量実績をキーとして設備稼動状態を判断して、直近の予測情報を自動修正する。

4.1.2 製鉄、冷延設備

比較的エネルギー量の変動が小さい製鉄設備、冷間圧延設備は、B/Cの稼動計画と実際の用役使用量をつき合わせて稼動状態を判断し、直近の予測を修正する。また、稼動から停止に至るまでの使用量変動を各設備ごとにパターン化することにより設備立上げ、立下げ時の使用量を予測する。

4.1.3 予測・実績誤差の自動補正

予測と実績の差を常時監視し、予測の誤差が大きいときは警報を発するとともに予測値（原単位）を自動更新する。

4.2 需給制御機能の向上対策

4.2.1 最少屈折点法による需給予測

場内各工場のエネルギー量から需給バランスの予測を行う方法として、最少屈折点法を採用した。Fig. 4に酸素工場の負荷決定方法を例として示し、算出手順を説明する。まず、製鋼、製鉄工場を主とした酸素使用工場の使用量計画を12h後まで集計し（STEP 1）、総使用量の積算を作成する。次にバッファとなるホルダ容量を加え、12h後にホルダ圧力の目標値を中位となるように、かつ、ホルダ圧力上下限と接する屈折点の数が最少になる（Fig. 4の場合はA、B2点）送給計画線を作る（STEP 2）。このようにして得られた計画線を送給計画とする（STEP 3）。

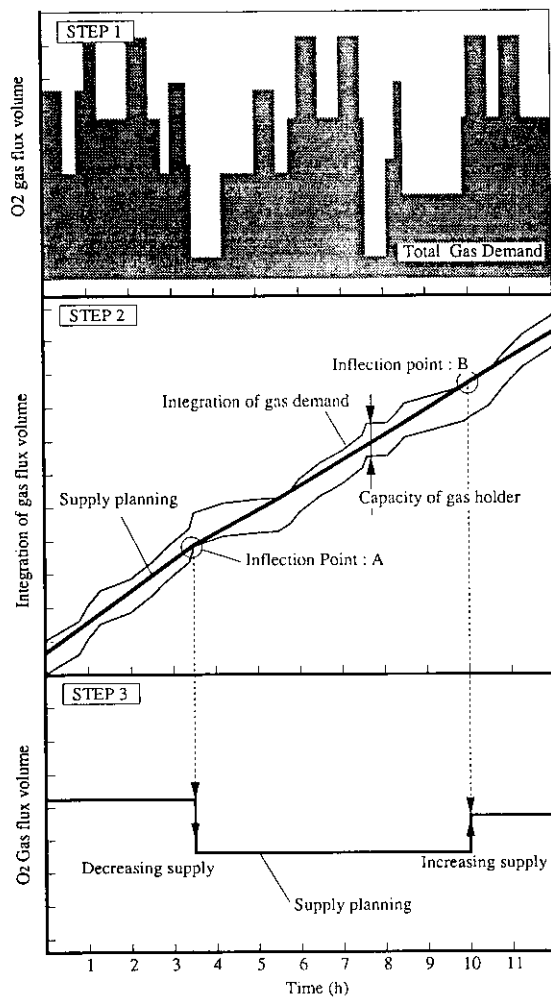
4.2.2 副生ガス需給制御

副生ガス需給制御のポイントは、ガスホルダの容量を有効に活用し、しかも発電所負荷を電力契約に応じて制御することである。最少屈折点法による需給予測は、各製鋼工場が吹錬を開始するたびに起動する。この際、発電所負荷の急激な変更や、ガス使用量変更が頻繁に行われることのないよう前回実績、および次回以降の予定を考慮して制御出力の変更に制限をかける。また発電所負荷配分においては、各発電所のバーナー能力、マスターガスの選択、発電効率などを加味した負荷配分を実施する。

下位DCSがP/Cの指令を受領する際は、P/Cの指令がそのまま実行される「自動」と、オペレータの介入する「確認」モードを有し、プラントの操業状況を判断して個別、任意に切替できるようにした。

4.2.3 酸素需給制御機能

酸素需給制御のポイントは、製鋼工場の使用量変動に対応しなが

Fig. 4 O₂ Plant supply planning

ら製品ガスの純度を確保し、過不足なく製品ガスを送給することである。酸素需給は変動の周期により、短期的な変動（10～20 min）は高圧ガスホルダでの吸収、中期的な変動（1～3 h）は12号酸素の変動吸収装置^{5,6)}での対応、長期的な変動（4 h以上）は各酸素プラントの負荷変動により対応することとなるため、最少屈折点法による平滑化を2回繰り返し、1回目の平滑化を変動吸収装置の、2回目の平滑化をプラント本体の操業計画とする。

酸素プラントは、一度負荷変更を行うと純度安定まで時間を要し、頻繁な負荷変更には対応できないため、各プラントの負荷配分は送給量の上下限、負荷変化率の上下限、負荷変更の制限時間、負荷変更対象プラントの選択などを考慮して各プラントの操業状況に応じた制御を行なう。

5 新エネルギーシステムによる制御実施例とその効果

今回のエネルギーシステムでは、需給バランスの定量化を図ることにより、下記の成果を上げている。

- (1) 発電、酸素プラントの需給バランスに基づいた負荷変更
- (2) 需給バランス平滑化による用役供給ロスの削減
- (3) エネルギー設備操業の集中化による省力
- (4) 用役仕訳、費用請求などのオンライン化による事務合理化

ここでは副生ガスと酸素ガスの需給制御とその効果について述べる。

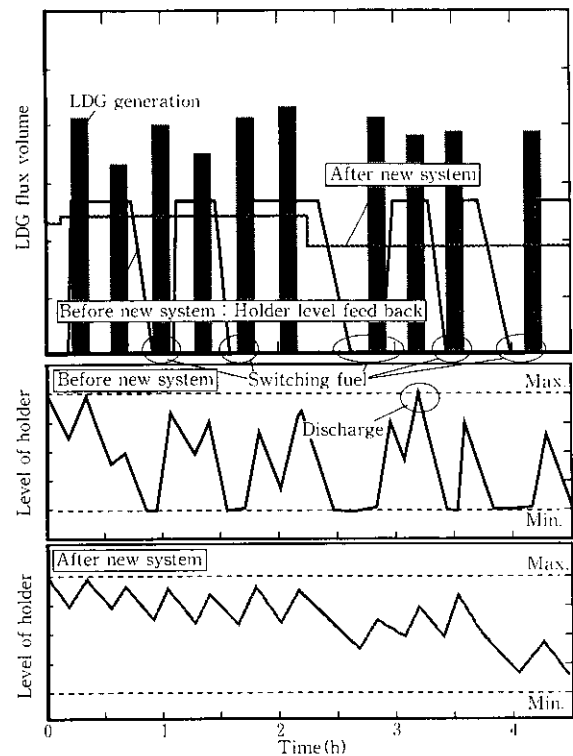
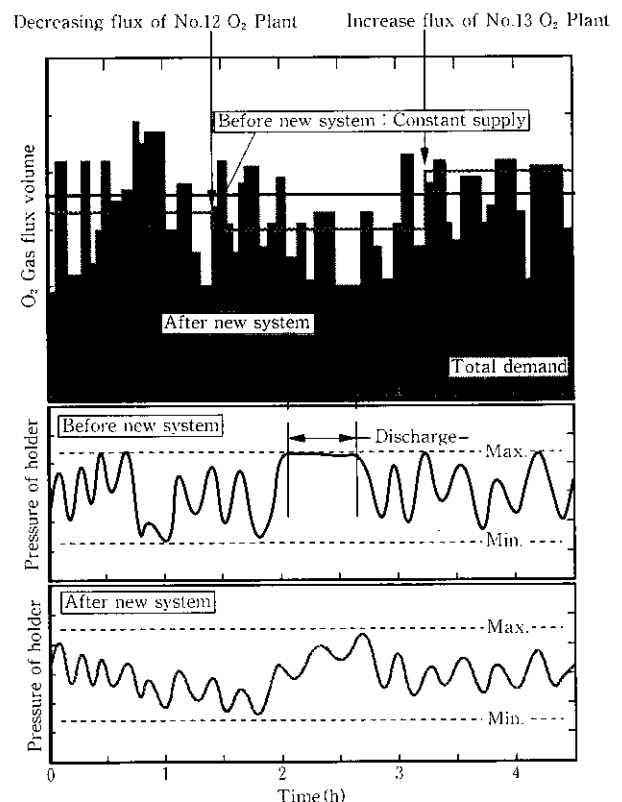


Fig. 5 Result of fuel system control

Fig. 6 Result of O₂ control system

5.1 副生ガス需給制御

Fig. 5に副生ガス需給制御による実施例として、LDG ガスホルダを用いた発電所向けガス量の制御の比較を示す。既存システムによ

る制御（実線）では、発電所への燃料ガス量はLDGガスの発生量予測とは無関係にフィードバック的に決められ、ホルダレベルが下限になるとガス供給量をカットする制御となっていた。これに対し、新しいエネルギーシステム（破線）では、ホルダレベルが上下限をフルに使用し、発電所向けのガス量を安定的に供給させる。これにより、発電所の燃料切替をLDGで30回/日から6回/日に、蒸気の送給、停止の切替を72回/日から24回/日に減少させることができ、発電所の運転を安定化させ、平均出力の向上に寄与した。

5.2 酸素ガス需給制御

Fig. 6に酸素ガス需給制御による実施例として、酸素ガス送給量の制御の比較を示す。既存システムによる制御（実線）では、酸素プラントの負荷を一定に保つため短時間の放散を許容するしかなかった。これに対し、新しいエネルギーシステムでは放散を抑止するためにあらかじめプラントの酸素発生量を減らすので、酸素の放散を

抑止でき、放散率を平均で3%低減させた。

6 結 言

千葉製鉄所は、今回のリフレッシュにより設備の集約、同期化が飛躍的に進行し、一設備の稼働が多設備に影響を及ぼすこととなった。このような状況のなかでエネルギーシステムの管制機能の重要性は一層高まっており、エネルギーコストの削減と合理化を合わせて実現する新エネルギーシステムの建設が必須となっていた。新エネルギーシステムは、従来のシステムに対し応答性と精度を高め、各ラインの動向に適切に対応できるようになった。

製鉄所のエネルギー需給は、今後環境問題ともリンクしながらさらに変化を続けていくものと思われ、予測される今後の需給構造の変化に対し柔軟に対応できるようにシステム設計を行い、一層のレベルアップを図っていく予定である。

参 考 文 献

- 1) 前澤利春, 小宮山滋, 南部正悟, 峰松隆嗣, 阿部成雄: 川崎製鉄技報, 17(1985)2, 104-109
- 2) 遠藤 勝, 小平雅夫, 井上 健, 菅谷 浩: 住友金属, 46(1994)2, 119-125
- 3) 判治洋一, 後藤俊彰, 川野義英, 金子邦彦, 藤原 哲, 中村信夫: NKK 技報, 130(1990), 1-8
- 4) 判治洋一, 川野義英, 白木利治, 成田 齊, 高橋良一: NKK 技報, 138(1992), 1-9
- 5) 榊井義行: 日本酸素技報, 11(1992), 11-22
- 6) 菅原勝幸, 天野 忍, 清水益人, 榎戸盛一, 楠 光裕, 本田秀幸: 川崎製鉄技報, 25(1993)1, 53-58