

85t UHP 溶解炉の自動溶解制御

Automatic Melting Control of 85t UHP Electric Arc Furnace

櫻井 美 弦*
Mitsuru Sakurai

石坂 邦彦**
Kunihiko Ishizaka

福井 良夫***
Yoshio Fukui

大谷 尚史****
Takashi Otani

小助川 卓*****
Takashi Kosukegawa

香西 伸時*****
Nobutoki Kosai

島田 雅照*****
Masateru Shimada

Synopsis:

An 85 ton electric arc furnace, newly erected in No.1 melting shop of Chiba Works, and equipped with automatic melting control system came on stream in June, 1981. The system includes a micro computer and its soft wear covers various functions such as procedures of melting, electrode movement control, flicker suppression, blast volume control, operation guidance, data logging and interface with process computer.

Since the start-up, stable power supply realized has led to various advantages such as reduction of tap-to-tap time, saving of refractory consumption and establishment of steady operational conditions. More efforts should be paid in future for further decrease of the power and electrode consumptions.

1. 緒 言

川崎製鉄(株)千葉製鉄所第1製鋼工場に、ステンレス鋼製造用として、85t UHP 溶解炉¹⁾が設置され、昭和56年4月初旬から操業を開始した。

UHP 炉の特徴は、短時間に大電力を投入して溶解時間を短縮し、生産性を向上させる点にある²⁾。これらの特徴を最大限に発揮するためには操業の広範囲の自動化が望まれる。

また、オペレータの日報・週報作成等の作業の省力、前後工程を含めた効率的生産管理など、溶

解炉操業改善のニーズは多様化している。そこで、これらの多様化したニーズに対処するため、前記溶解炉にマイクロコンピュータを主制御装置とする自動溶解制御システムを導入し、昭和56年6月初旬に工程化した。

以下に、本システムの目的、主要制御の内容、稼動後の状況について報告する。

2. 溶解炉設備の概要

炉体および電気設備の概略仕様を Table 1 に示す。溶解炉は炉用変圧器65MVAを適用した UHP

* 千葉製鉄所設備部設備技術室
*** 千葉製鉄所設備部西工場整備課課長補
***** 千葉製鉄所製鋼部製鋼技術室主査(部長補)
***** 千葉製鉄所設備部設備技術室主査(課長)
〔昭和57年3月29日原稿受付〕

** 千葉製鉄所製鋼部製鋼技術室
**** 千葉製鉄所製鋼部製鋼技術室主査(課長)
***** 阪神製鉄所設備部設備技術室

Table 1 General specification of equipment

Equipment	Specification	
Furnace	Model	: IHI-FA-630RF Slanted electrode system
	Furnace capacity	: Nominal 85t, max. 100t
	Shell diameter	: 6 300mm
	Shell height	: 4 650mm
	Electrode diameter	: 24inch
	Charging system	: Swing roof top charge system
Electric equipment	Item	Specification
	Main circuit breaker	154kV GIS (Gas Insulated Switchgear) Rating : 168kV, 2 000A
	Furnace transformer	Cooling method : Forced-oil and water Step down method : 154kV direct step down tertiary switching Tap changer system : On load, motor driver, vacuum type switch Capacity : 65MVA, max. 78MVA 2H Primary voltage : 147kV Secondary voltage : F770V, R595V, 350V (13 Taps) Tertiary voltage : 33kV Condenser winding : 22kV Secondary current : 63.1kA at 595V
	Vacuum circuit breaker	Rating : 36kV, 1 200A Life : 10 000Time
	Flicker control equipment	TQC (Thyristor Q(VAR) Compensator) Rating : 22kV 11MVA
	Electrode control equipment	Lifting motor : Fully enclosed type induction motor 3 ϕ 440V 50Hz 45kW Speed control system: Primary voltage control by thyristor
	Automatic melting control system	Microcomputer Memory capacity : 24kW
Auxiliary equipment	Electrode automatic connecting device	Type : Automatic positioning and hydraulic screwing system
	Automatic gunning machine	Type : Mast and swing arm type
	Electrode protecting equipment	Type : Load cell type
	Clean house	Capacity : 4 400m ³
	Dust collector	Capacity : 5 300m ³ /min Method : Speed control by fluid clutch

溶解炉である。Fig. 1には、全体レイアウトを、溶解炉の電気主回路系統を Fig. 2に示す。

2・1 炉用変圧器

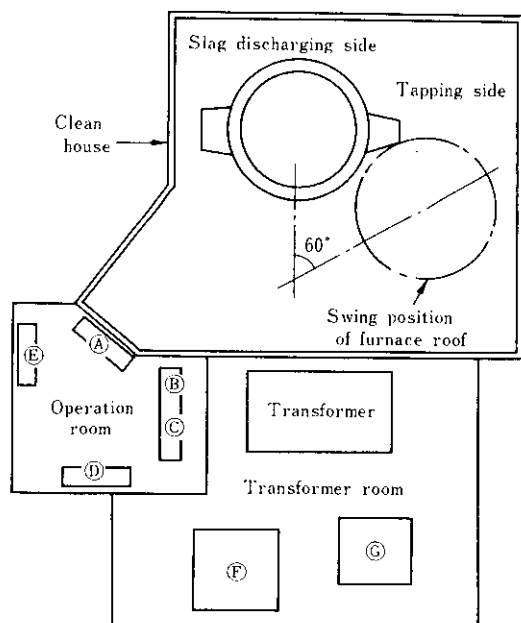
上位主遮断器の開閉頻度削減、変圧器自体の電力損失削減による省電力のため、154kV/595V/33kVの1段直落し3巻線の変圧器を採用している³⁾。二段落し方式と比較して変圧器自体の損失は20%減少する。

2・2 154kV系主遮断器

154kV系では、設置スペース縮小と多頻度開閉のため、全三相一括形ガス絶縁開閉装置 (GIS: Gas Insulated Switchgear) を採用した⁴⁾。

2・3 フリッカ抑制装置

炉から発生する無効電力を速応的にかつ、連続的に吸収し、精度のよいフリッカ抑制を行うため、



(A)	Main operation desk
(B)	Automatic melting control panel
(C)	Supervisory panel
(D)	Control panel
(E)	Supervisory panel
(F)	High voltage metal enclosed switchgear
(G)	High voltage metal enclosed switchgear

Fig. 1 General layout of arc furnace and relating equipment

サイリスタ式フリッカ抑制装置 (TQC:Thyristor Q(VAR) Compensator) を採用した⁵⁾。

2.4 クリーンハウス

溶解炉本体をハウス状の外壁で囲み、防音、防塵対策とした。スクラップ装入や炉内作業のため、開閉扉を設けている。

2.5 集塵設備

クリーンハウスの採用により、従来の直接吸引方式に変えて、間接吸引方式を採用している。流体継手による回転数制御を行い、省電力をはかっている。

3. 自動溶解制御の目的

今回、85tUHP 溶解炉に自動溶解制御を導入した目的は、以下のとおりである。

- (1) 電力原単位、耐火物原単位、電極原単位等の向上をはかる。
- (2) 操業時間を短縮することにより、生産性を向上させる。
- (3) オペレータの手動による操作、設定を自動化することにより、省力をはかる。
- (4) 操業の標準化をはかり、オペレータによる個人差を減らす。
- (5) 溶解進行中の種々のデータの表示や上位計算機との情報の授受により、オペレータガイダンス、操業管理や帳表作成の効率化をはかる。

4. 自動溶解制御システム

4.1 制御システムの概要

溶解炉の自動溶解制御は、従来から、簡易なハードロジック機構で主にアーク電力量を制御する方式が用いられていた。しかし、溶解炉に投入されるスクラップの種類が雑多であること、溶鋼温度を継続して測定するセンサーがない点などの理由で、溶解プロセスの大幅な自動化が遅れているのが現状である。

今回は制御対象の多様性に迅速に対応するため上位計算機とリンクでき、かつ、各種演算判定のプログラム変更が容易なマイクロコンピュータを採用した。

自動溶解制御システムのブロック図を Fig. 3 にマイクロコンピュータの仕様を Table 2 に示す。また操作室外観を Photo. 1 に、自動溶解制御盤を Photo. 2 に示す。

このシステムを設計するにあたって考慮した点は、以下のとおりである。

- (1) 自動記録装置により、操業結果を的確に把握し、電力投入制御の最適パターン確立のための資料入手が容易であること。
- (2) 種々雑多なスクラップに対応して溶解プログラムを変更・選択できること。

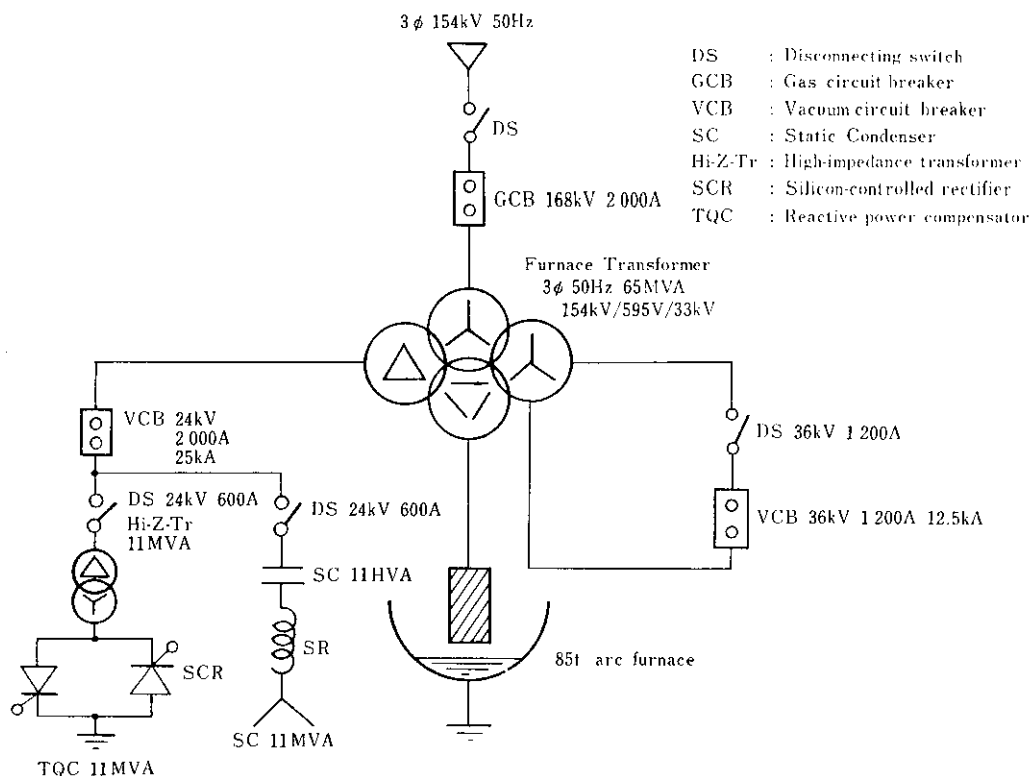


Fig. 2 Schematic illustration of main circuit

Table 2 Specification of micro-CPU

Item	Specification
Control method	Micro program method
Instruction	Program oriented language
Main memory device	Element: wire memory Word length: 16bits+2parity bits Memory capacity: 24 KW)
Operation function	●Cyclic scanning ●Step sequence control ●Periodical sampling control ●Interruption
Linkage	Micro data way

(3) ソフトウェアの追加, 変更あるいは機能の追加が簡単に行えること。

(4) 上位計算機とのリンクにより, 前後工程との効率的な連係操作を可能にすること。

本システムでは, 制御は1溶解(以下 ch. と略す)ごとに行われ, まず装入原料の種類および重量などにより, 基本となる溶解プログラムを選択

する。そして, 溶解の進行に伴う各種のプロセス信号の変化により, 炉況(溶解状態)を自動的に判定し, 電力の投入を行う。

原則的な操業過程と電力投入パターンを Fig. 4 に示す。電力投入の自動制御を行うのは, 点弧期から溶解末期終了時, すなわち酸素吹結前までである。

4.2 主要制御項目別の内容

主要制御の内容を以下に列挙する。

(1) 運転フロー

操業時には手動, 連動, CPU (Central Processing Unit) の3種類の運転モード選択が可能である。連動, CPUモードは本装置による自動制御モードである。Fig. 5に連動またはCPUモード時の運転フローを示す。

(2) プロセス制御

溶解スタート前に操業データとして, 装入回数, 溶解鋼種, スクラップ装入トン数, スクラップ構

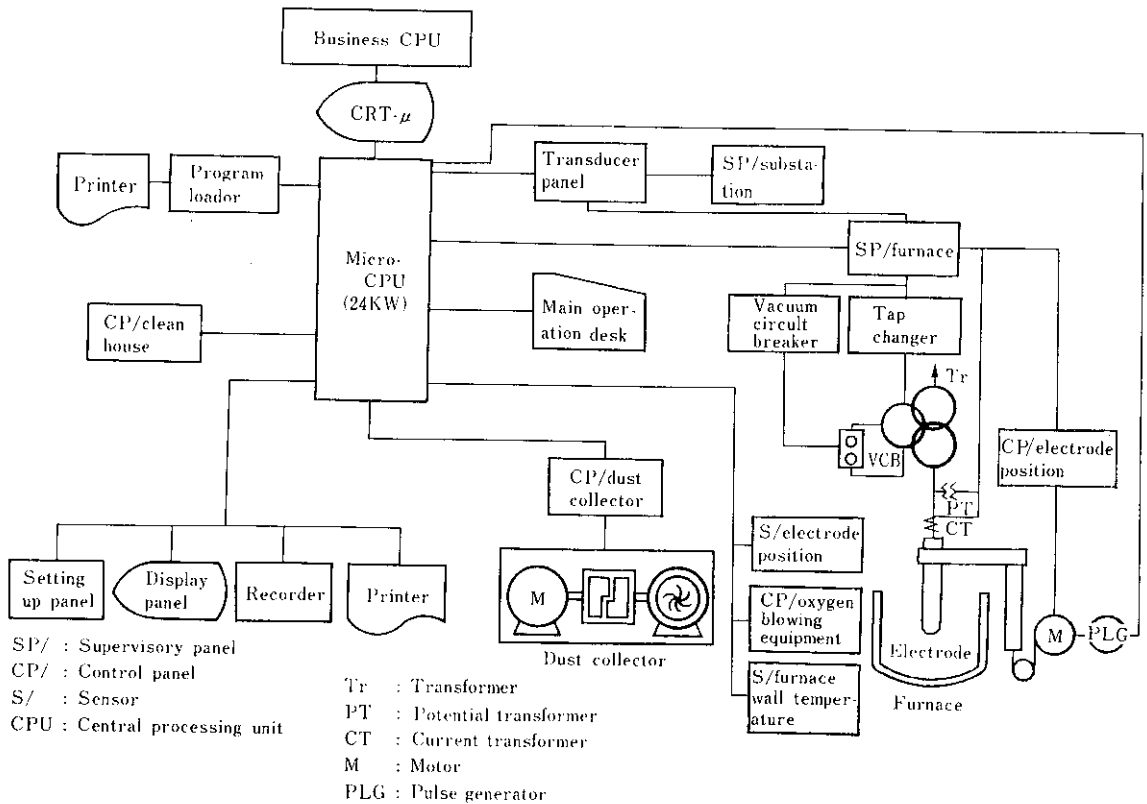


Fig. 3 Block diagram of automatic melting control system

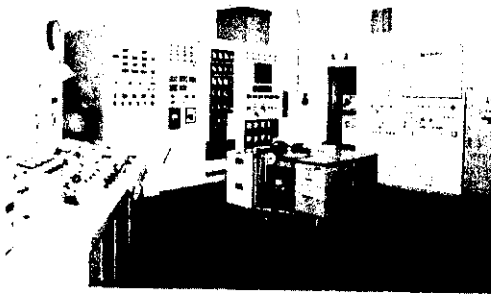


Photo. 1 Operation room

成種別、電力原単位等を設定する。装入回数、溶解鋼種により、基本投入電力パターン、それにもとづく各種制御対象（アーク電圧、電流、電力投入率、電極昇降感度、電極昇降応答度等）の基本設定値を選定する。次にスクラップ構成種別により、基本設定値を修飾して各炉況時の最適値をテーブルから選択する。

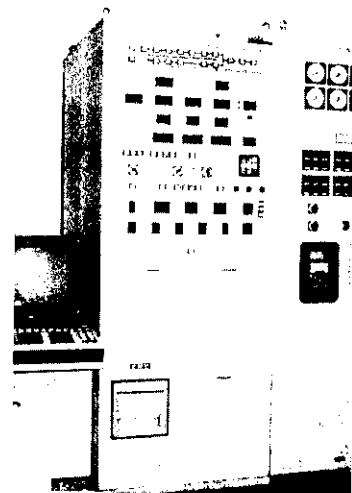


Photo. 2 Automatic melting control panel

(3) 炉況判定制御

アーク電流が流れ始めてから、出鋼完了までの各期の終了判定を自動的に行うものである。判定

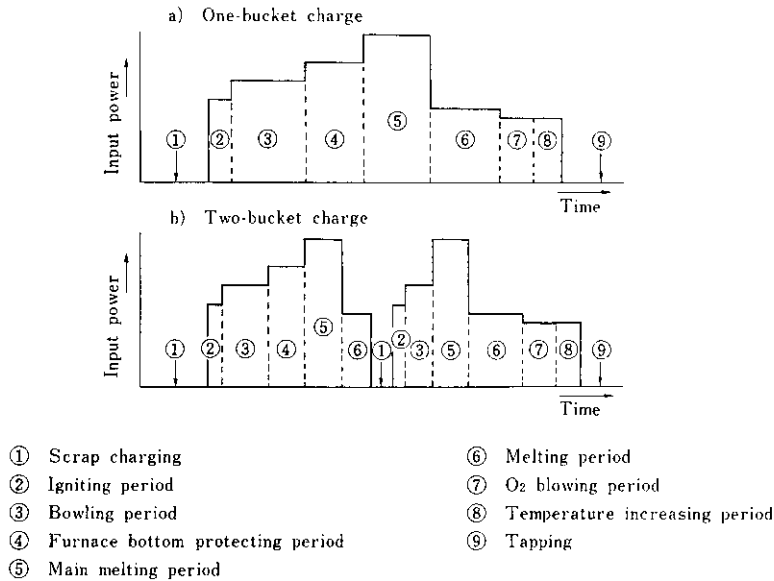


Fig. 4 Examples of input power transition

条件としては、投入電力量、電極先端位置、経過時間、炉壁温度カーブなどを採用している。

(4) 電流補正制御

電極先端が炉床に近い状態で大電流を流すと炉床の耐火物を損傷させるので、電極先端と炉床間の距離（相対距離）が小さくなった場合に電流の減流制御を行う。

(5) 電極管理、炉床管理

電極先端の位置、炉床深さなどを検出し、炉床補修量のガイダンス、溶解終了後の電極溶損長、電極原単位の算出や、電極継足しタイミングなどの通知にも使用している。

(6) 過大電流監視制御

溶解中、スクラップの倒れ込みなどで過大電流が流れる場合、過大電流領域に入った相数により、タイミングを判定した上で電極を急速に引き上げ、電極折損の防止や、電気設備の寿命短縮の防止をはかるとともに安定した電力の投入を行う。

(7) 時間管理

溶解末期終了までの残時間表示および経過時間などの表示により、追装スクラップの装入タイミング、あるいは、酸素吹精開始時期などを通知する。

(8) 炉内容積計算

2回装入操作時の追装スクラップ装入最適タイミング判定を行うものであり、炉内空間容積が追装スクラップ容積より大きくなった時点を判定し、初装溶解を終了させる。投入電力量、電極位置などにより、炉内容積を予測計算している。

(9) フリック監視

フリッカレベルを監視し、設定値を越えたら抑制モードに切替え、基本プログラムで設定されたタップ電圧より低い電圧で操作する。フリッカレベルが下がるとタップ電圧を復帰させる。

(10) 集塵機風量制御

炉から発生する排ガス量は溶解鋼種、炉況によって異なる。本装置では、必要な吸引風量をテーブル選択し、ファンの回転数指令として出力する。

(11) インピーダンス測定

溶解炉の操作特性を把握するには、炉体電気特性を知ることが必要不可欠である。当システムは容易にインピーダンスを算出できる機能を有している。将来は操業リアクタンスの解析用として拡張していく予定である。

(12) オペレータガイダンス

操業データ設定内容あるいは操業結果の印字を行う。また、溶解進行中のプロセスをオペレータに知らせるため、以下の各表示機能を持っている。

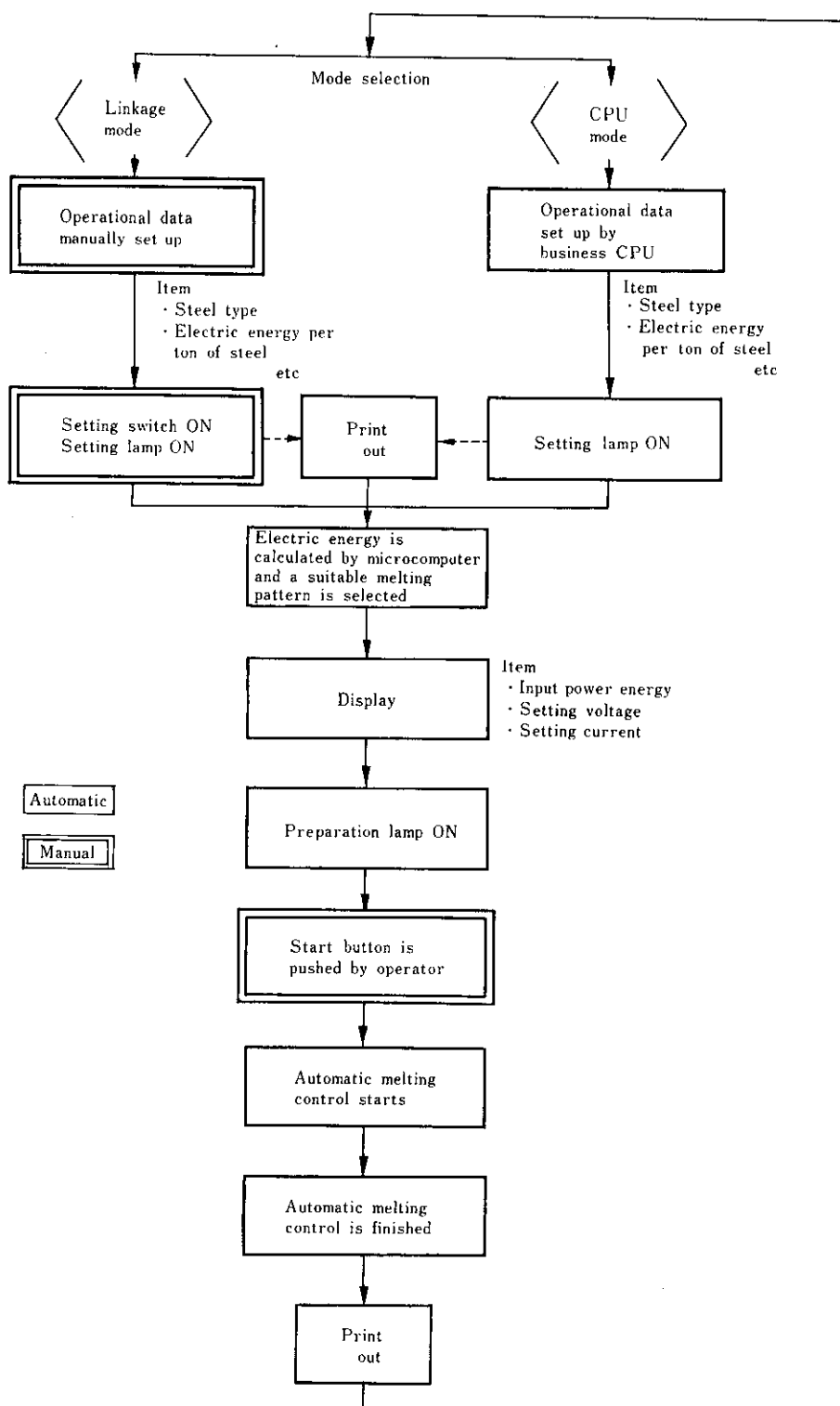


Fig. 5 Flow chart of automatic melting control

炉況表示, 投入電力量設定値, 投入電力量実績値, 残電力量, 電圧設定値, 電流設定値, 残時間, 経過時間, 電極位置。

など。

(13) 上位計算機とのリンケージ

上位計算機から操業データをプリセット値として受信し, 操業を行う。また, 溶解進行中, 各種データを送信することにより, 上位計算機で操業状態の把握, 帳表の作製を行う。

5. 稼動後の状況

自動溶解制御システムによる操業は, 6月初旬に工程化した。以下に稼動後の状況, 効果を示す。

(1) 操業状況

自動溶解制御システムによる操業時の電力チャートの一例を Fig. 6 に示す。これは, 1 回装入の

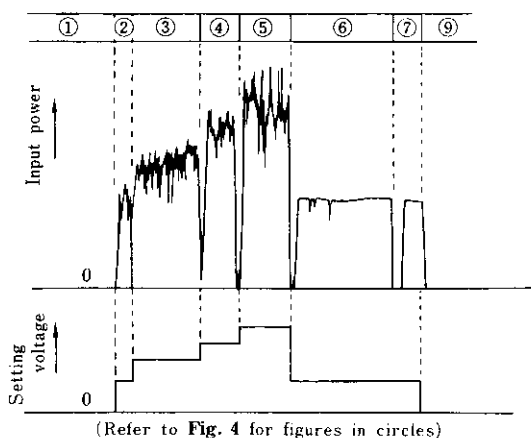


Fig. 6 Power chart of automatic melting

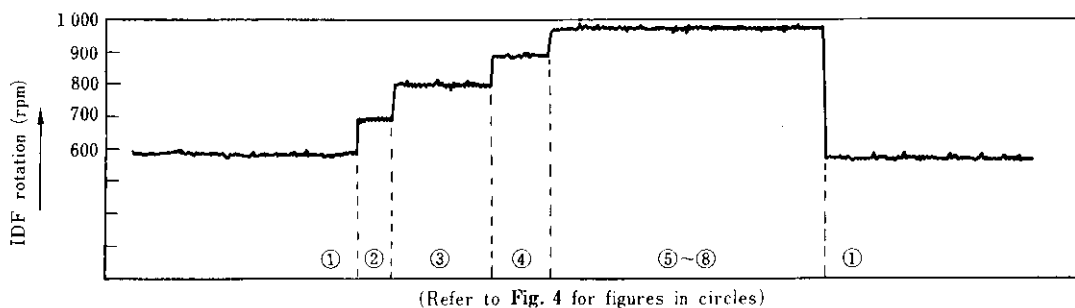


Fig. 7 An example of operating pattern of dust collector

場合の溶解パターンであり, 各期ごとの投入電力の違いが明確にわかる。パターンは Fig. 4 によく一致しており, 効率よく安定して電力が投入されていることがわかる。昇温期⑧の電力投入がないのは, 酸素吹精終了後の溶鋼温度が出鋼目標温度に達したためである。

また, Fig. 7 に自動溶解制御システムによる吸引風量制御例を集塵機のファンの回転数のチャートにより示す。なお, 風量設定パターンは可変である。

(2) TAP-to-TAP時間の短縮

手動溶解操業法に比較して, 自動溶解の場合は, タイムスケジュールの面で以下の効果が得られた。

- ① 溶解時間の短縮
- ② 溶解残時間表示に基づく, 酸素吹精開始タイミングの把握
- ③ 溶解残時間表示に基づく, 追装スクラップ装入時期タイミングの適性化

結果として, TAP-to-TAPが約2分短縮された。これを Table 3 に示す。

(3) 原単位の低減

自動溶解制御システムではホットスポット部のレンガ溶損防止対策として炉壁温度を常時監視し

Table 3 Comparison of tap-to-tap time (min)

	Power on ~ Tapping start	Tapping start ~ Tapping end	Tapping end ~ Power on for next ch.	Tap to-tap
Manual melting	80	5	20	105
Automatic melting	78	5	20	103

ている。従来はオペレータの勘にたよっていたが、炉壁温度の監視により、適切な時期に電力のタップダウンが実施できている。本制御により、ホットスポット部の耐火物原単位が0.13kg/t-ch. 削減できた。これをTable 4に示す。

電力原単位、電極原単位については今のところ、顕著な低減効果は認められていない。

Table 4 Comparison of refractory consumption at hot spot region
(kg/t-ch)

Manual melting	2.36
Automatic melting	2.23

(4) 操業の標準化

手動溶解法では、オペレータの個人差により、各期の終了判定タイミングが異なりがちで、ひいては溶解の進行過程に差を生じやすい。また、操作によっては過電流となり、電極急速引上げが必要となって、安定な電力投入が困難であった。しかし、自動溶解制御により、各期の終了判定を自動的に行う結果、オペレータの個人差によるばらつきはなくなり、また、電力も安定して投入できるようになった。

(5) オペレータ・ガイダンス

オペレータ・ガイダンスにより、次に示す点で効果があった。

① 溶解残時間表示により、追装スクラップ装入のタイミングが明確になり、ロスタイムが減少した。

② 溶解残時間表示により、酸素吹精開始タイミングの適正化がはかられた。

③ 電極管理による電極溶損長の表示、電極継足しタイミングの通知により、溶解中のトラブルを減らすことが可能となった。

また、操業データの印字内容例をTable 5に示す。上部に設定データを印字し、下部に下記の操業結果を印字する。

炉況ごとの投入電力量および所要時間、手動介入の有無、電極原単位。

6. 結 言

85tUHP 溶解炉に自動溶解制御システムを導入し、56年6月初旬に工程化した。

これによって手動溶解に比べて次の利点が得られた。

- (1) 安定して電力を投入できるようになった。
- (2) TAP-to-TAP時間が2分短縮された。
- (3) 耐火物原単位が0.13kg/t-ch. 向上した。
- (4) 操業方法が標準化できた。
- (5) 操業管理が効率的に行えるようになった。

今後の課題としては、いっそうの原単位低減がある。電力原単位や電極原単位は手動溶解制御に比べて顕著な差がでていない。本制御システムでは各種測定機能を有しているので、今後、大いに活用し、原単位を最小とする最適制御をめざしたい。

最後に、本制御システムの導入に当り、多大な御協力をいただいた富士電機製造(株)に御礼を申し上げる次第である。

Table 5 An example of data logging
(Refer to Fig. 4 for figures in circles)

SETTING DATA				03H 37M	Start time (M:min)
MF NO 00193				PROGRAM:B	
Electric energy per ton of steel	→ 424KWH.			TON	
	→ KWH			TIME	
Input power of each period	②	FCSI	1600KWH	3M	
	③	FCBI	9600KWH	13M	
	④	FCP	5700KWH	7M	
	⑤	FCMI	12000KWH	12M	
	⑥	FCEI	12300KWH	22M	
	⑧	FCR	00KWH	20M	
	TOTAL 41200KWH			77M	
Loss time	→ 13MIN				
Each electrode weight per ton of steel	→ J	1.64	2	0.93	3 0.72 TOTAL 3.29

参 考 文 献

- 1) 大谷ら：「85T UHP 溶解炉の建設」，日本鉄鋼協会共同研究会第65回特殊鋼部会（昭和56年7月）
- 2) 岸田ら：「アーク炉製鋼法の現状と将来」，電気製鋼，50（1979）1，15
- 3) 岩崎ら：「わが国最初の154kV一段落し製鋼用アーク炉用変圧器設備」，富士時報，43（1970）3，42
- 4) 杉山ら：「54/187kV三相一括形ガス絶縁開閉装置」，日新電機技報，25（1980.7）3，65
- 5) 箱田ら：「最近のサイリスタ形無効電力補償装置（TQC）について」，日新電機技報，24（1979.7）3，106