引用文献

- 1) Boothroyd, R.G.: "Flowing Gas-Solids Suspensions", Chap. 4, Chapman and Hall Ltd., London (1971)
- 2) Allen, J.B., et al.: "Velocity of Particulate in Laminar and Turbulent Gas Flow by Holographic Techniques", Lockheed-Georgia Co., Marietta (1971)
- 3) 井沢, 田中: "レーザーによる流速の測定" 大阪府立工業奨励館報告, No.54, 48 (1971)
- 4) Bossel, H.H., et al.: "Noise-cancelling signal difference method for optical velocity measurements", *J. of Phys.*, E, 5, 893 (1972)
- 5) Bossel, H.H., et al.: "Self-aligning comparison beam methods for one-, two- and three-dimensional optical velocity measurements", *J. of Phys.*, E, 5, 897 (1972)
- 6) 井伊谷ら: "流体管路圧力測定における Purging の影響", 粉体工学研究会誌, 5, 1193 (1968)
- 7) 増田他: "固-気 2 相流における拡大管による空気流量測定の誤差", 化学工学協会第 37 年会講演要旨集, p.246, F 302 (1972)
- 8) Farbar, L.: "The Venturi as a Meter for Gas-Solids Mixtures", *Trans. of the A. S. M. E.*, 75, 943 (1953)
- 9) Barth, W., et al.: "Neues Verfahren zur Bestimmung der augenblicklich geförderten Gutmengen im Luftstrom bei Pneumatischer Förderung", *Chemie-Ing.-Techn.*, 29, 599 (1957)
- 10) 井伊谷, 後藤: "固-気 2 相流流量計", 化学工学, 27, 80 (1963)
- 11) 阪田: "ベンチュリ管内の固-気 2 相流について", 日本機械学会論文集, 37, 1560 (1971)
- 12) Beck, M.S., et al.: "Particle Velocity and Mass Flow Measurement in Pneumatic Conveyors", *Powder Technol.*, 2, 269 (1968/69)
- 13) Soo, S.L., et al.: "Concentration and Mass Flow Distribution in a Gas-Solid Suspension", *I. and E. C. Fund.*, 3, 98 (1964)

ITV 計測技術の化学工学への応用*

曾 我 弘**・中 村 正 和**

1. 緒 言

化学工学で取扱う広汎な対象に応じて、そこに利用される計測技術もまた広い分野にまたがるであろう。

ここでは化工プロセスまたは実験装置における複雑かつ動的な現象の解明に ITV (工業テレビ) を利用して視覚情報を付加し、その解析を容易にする手法を開発したのでこれを紹介する。テレビ計測は高速記録や分解能の点で写真技術には及ばないが、記録再生が簡単で電気信号が得られ、実時間処理ができるなどの特徴を持っている。記録された視覚情報を電算機で定量化する技術を普通映像処理 (Image processing) というが、視覚情報をそのまま受けとめ、これと関連する多数のデータを同時記録し必要に応じてこれを映像と同時に再生して解析に供しようというのが筆者らの基本的考え方である。多数のプロセス計測データや、簡単な映像処理されたデータと映像とを一本のビデオテープに同時記録再生できる MDR (Multi-Data-Recorder: 以下 MDR と略称) はこの種の要請に基づいて開発されたものである。

2. 化学工学における視覚的データの測定

2.1 測定対象

化学工学の分野においてパターン測定の対象となるものは多岐にわたるが、熱分布、輸送、流動現象などはその例といえる。高炉々頂の装入物の温度分布、炉底鉄皮の温度分布、セメントキルンの壁温分布の測定などは一応確立されたパターン測定技術といえる。これらの熱分布の変化の要因や、その意味を考える場合には関連するプロセスデータを映像と同時性を確保しながら記録し、これらを同時に再生できれば非常に有益であるが従来この種の試みはあまり行なわれていなかった。一般にこの種の実験は映像の得られる場所とデータの収集される場所が離れているため、テレビ信号のように映像を電気的に伝送できることは大きな利点となる。測定対象となる映像はこのような熱分布に限らず普通の可視像や特殊なものとしては X 線の像などもテレビ像として得ることができる。

2.2 センサーとしての撮像管

画像をカメラでとらえる撮像管についてはすでに種々のものが開発されている。

* 昭和 48 年 1 月 18 日受理

** Hiromu Soga and Masakazu Nakamura
新日本製鉄 (株) 基礎研究所

赤外ビジョンも最近に残像の少ないものが開発されて200°C以上の像であれば見ることが出来る¹⁾。さらに正確な温度分布や低温の温度分布の計測には赤外線カメラが用いられるが^{2),3)}、この場合にはテレビ信号に変換するための何らかの走査変換が必要である。

可視光のテレビカメラは主としてビジョン管と呼ばれる撮像管が用いられているが、高感度のプランビコン⁴⁾やさらに高感度用として、イメージ増幅器付のSECチューブ⁵⁾(Secondary Electron Conduction Tube)と呼ばれる撮像管もあり、非常に暗い像の記録や、X線像、電子顕微鏡の撮像に利用されている。さらに高速物体の間歇的記録にはイメージディセクターやシャッター付テレビなども利用できる⁶⁾。このようにセンサーとしてみた撮像管も、現在ではかなり広い分野をカバーしていると考えてよい。

2.2 映像情報の処理

一口に映像処理といってもその内容は漠然としているが、例えば被測定物体の長さ、面積、体積、変位、輝度、形状などを求めることはすでに計測の各分野で行なわれている⁷⁻¹³⁾。これらの処理はほとんど実時間で行なうことができる所に大きな特徴がある。画像に含まれる情報量はその密度が非常に高く、その解析には大型電算機によるもっと複雑な処理が行なわれている例も多い。スペース用テレビ画像の処理は代表例といえる。身近かな動的画像の処理においては人間が解析の主役になることが多く、その際判断資料として簡単な画像処理やその画像と関係する諸々のデータが役立つわけである。図1はこのような測定解析法の概念図を示したものである。

3. MDR* の動作原理

MDRは機能的にはVTR(Video Tape Recorder)と16チャンネルのデータレコーダを兼ねたようなものである。動作の詳細は紙面の関係で他の文献^{11,14)}にゆずるが原理を簡単に述べる。基本的な考え方はテレビ画像が一定の走査線で構成され、各走査線はそのスタートを示す水平同期パルスをもつことを利用したものである。すなわち記録したいデータは10ビットのデジタル値に変換され、1ビットずつ走査線の初めに、“1”、“0”に対応したパルス信号として映像を一部削って記録してゆく。したがってこの場合10本の走査線の中に1データが記録される。その後パリティビットが記録され、最後にデータ間の切れ目を示すワードビットが少し異なった位置に入る。これらの付加ビットは信号の再生時に、誤動作チェックをするために利用される。1データの記録が終ると、つぎのデータが変換され、上と全く

図1 MDRを用いたプロセス測定法概要

図2 映像信号の中へのデータ記録法

同様のプロセスで結局1画面に16チャンネルのデータが記録される。理論的には1画面に記録できるチャンネル数 N は(1)式で与えられる。

$$N_{\max} = L/2(D+2) \quad (1)$$

ここで L は走査線の本数、 D はデータのビット数である。また利用しないチャンネルをとばして記録してゆけばチャンネル当りのサンプルレート(SR)を上げることができる。これは(2)式で与えられる。

$$SR = f \cdot L / N(D+2) \quad (2)$$

f は毎秒のフレーム数、 N は使用するチャンネル数である。標準のITV方式では $L=525$ 本、 $f=30$ 枚であり、 $N_{\max}=16$ 、 $D=10$ とし N は1~16まで選択できるようになっている。

再生に当っては記録と逆のプロセスで1チャンネル毎に再生されアナログ値に変換される。誤りのあった場合は前回の値をそのまま保持するような方法がとられている。図2はパルスの記録法の概略図を示す。

4. MDR の特徴

MDRの持つ特徴を整理すると下記のごとくなる。

* MDRは浜松テレビ(株)からV.D.C.(Video Data Coder)の名称で商品化されている。

(a), (b) は外部信号によって切換えて取り出される。

図3 MDR の出力形式

図4 実時間処理されたデータの編集

- (1) 画像情報と関連データが同時に1本のテープに入る。
- (2) 画像とデータの完全な同時性が確保される。
- (3) デジタル記録方式のため記録再生に伴うデータの質的劣化がない。
- (4) 既存のVTRの機能がそのまま利用できる。
- (5) デジタル出力は簡単に電算機に入れられる。
- (6) 電氣的タイマーが利用できる。
- (7) 多チャンネルデータレコーダとして利用できる。

このような特徴を持つMDRはプロセスの動的解析法として有効に利用できると思われるが、同時にITVを利用しているための使用上の制約もある。これらは、

- (1) テレビの画像枚数が60枚/秒であり高速現象の連続観察ができない(間歇測定は可能)。
- (2) 分解能やコントラストは写真より劣る。
- (3) データのサンプリングレートの最大値は、(2)式から $N=1$ として、 $SR=1312.5\text{ Hz}$ である。

5. データ処理

画像を何らかの形に処理したデータ、プロセスから直接間接に集収され記録されたデータはそのまま利用されることもあるが、さらに電算機による処理が必要なこともある。筆者らは現在MDRとミニコンとを結合するシステムを開発中であるが、MDRの出力はハード的には簡単に電算機と結合できる。データ出力形式の一例を示すと出力は16ビットで図3に示す形で取り出される。

二個の出力が切換で送り出されるようになっており、図3(a)はデータ出力、同(b)は時刻の出力で、時刻は実験の際プリセットすれば1枚1枚の画像に正確な時間を記録することができる。図の例では1秒単位になっているが、必要に応じて1/60秒単位にすることもできる。データと時間は計算機の指令で切換えて読むことができる。

逆に実時間で収集されたデータと画像とをMDRで同時記録することもできる。また簡単な処理の場合には図4に示すような方法で処理したデータを再度画像と同時記録することも可能である。上述のごとくデジタルでデータ処理が可能なおから種々な処理を電算機で簡単にこなうことができる点が応用上有益である。

6. 応用の可能性

ここに紹介したような解析法は、画像の情報が重要であると同時につぎのような性格を持ったプロセス解析の実験に利用価値があると考えられる。

- (1) 再現性のない現象、確率的に起る現象(高炉レースウェイプロセスなど)
- (2) 実験コストが高価であったり、危険をとまなうような場合(実プラントテスト、燃焼、化学反応など)
- (3) 結果の概要をすぐ検討したい場合(オンラインでの実験評価など)
- (4) 画像とデータを同時に記録に残したい場合(報告、教育、PRなど)

これらは筆者らの思いついた例であり、さらに興味ある応用は読者諸賢の専門知識におまかせしたい。

7. 応用例(高炉羽口の定量化研究^{11,15)})

以上抽象的な説明を述べてきたが、ここで筆者らの行った一例を簡単に紹介して、解析技術の感触を理解していただきたい。

周知のごとく高炉操業においては、送風羽口から炉内を監視して炉況判断を行なう作業は操業者にとっては不可欠の情報を提供してくれるが、これには相当な熟練と経験を必要とする。近年高炉の大型化に伴って羽口の数も増加し、各羽口を十分に観測することは危険も伴いかなり困難になってきている。このような状況から羽口情報を定量化したいという強い要請が出されている。

一方羽口の状況というのは時々刻々変化しており、またのぞき窓の径が約10~15mmφと小さく、これから先5m位の所の現象を経験によって判断するため、何人かの人が同時に見ることができない。そこでカラーITVを用いて連続監視ができるようにした。ところが操業者

図5 高炉計測システム

図6 生鉱落ちと圧力微小変動

の判断と一致する情報はそのままでは得られないので、羽口状況と関連する風量、風圧、温度などの各種の周辺データを同時記録、解析できる技術が必要になってきた。この要求を満たすためにMDRを開発した。図5は筆者らの行なった実験の測定法の例を示したものである。

解析結果の詳細については紙面の関係で別の機会にゆずり、ここでは一例だけ紹介したい。羽口状況の良否を判定する基準として、羽口先に降下してくる未溶融物の量（俗に生鉱落ちともいう）や、羽口先の輝度、コークスの旋回状況などの因子が知られている。そこでこれら

の因子と相関のあると思われる多くのデータを同時記録することにより、種々なケースについて解析を行なった結果、そのうち送風圧力の微小な変動と非常に良い対応を得ることができた。また輝度の変化などはITVの画像処理による輝度とよく一致した。図6はこの結果を示したものであるが、ITVの画像も同時に示した。興味あることは一度羽口の情報をこの種の計測値で置換してみると連続測定や多点の同時計測が可能となり、単に従来の方法を省力化できる可能性がわかったのみならず、従来知られていなかった種々な新事実も明らかになってき

(a) 重油燃焼状況

(b) ブラックゾーン（この値は実時間で計算される）

写真1 重油燃焼とブラックゾーン

図7 重油吹込量とブラックゾーンの相対値

たことである。

一方コークス比の低下を意図した高炉羽口からの重油吹込みの研究も行なわれているが、実高炉における燃焼性の評価法はほとんど無い。筆者らは羽口から ITV で撮った画像から未燃焼部分（明るい背景に対し黒く見えることからブラックゾーンという）を計測して、重油吹込み量とブラックゾーンの間により直線関係があることを見出した（図7、写真1参照）。これから燃焼性の良否を左右する因子などを明らかにすることができた¹⁵⁾。

以上の例は現象の再現性が少ないこと、危険なこと、実験コストが高いことなどを考えると他の方法ではなかなか解析が困難な例と考えられる。

結 言

ITV を利用したプロセス解析法の一例を紹介した。こ

の方法の考え方はプロセス現象の視覚的情報の解析にあたって、これらと関連する周辺データを同時に解析者に提供することができるようにすることである。このために ITV によって測定された現象と諸データとを同時記録する MDR 技術について、その原理と高炉プロセスへの応用を示した。これは一つの例で他の化工プロセスの解析などへの参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 袴田：映像情報，1，No.12，p.29/32
- 2) 大野二郎：鉄と鋼，58（1972）12，p.1705/1717
- 3) 下間ら：第7回 SICE 学術講演会（昭43. 9）
- 4) テレビジョン工学ハンドブック p.5-46
- 5) たとえば Westing house 技術資料，TD 86-827
- 6) 丹羽ら：テレビジョン，24（1970）5，p.382/384
- 7) 丹羽ら：テレビジョン産業応用研究委員会資料「トロリー線摩耗の ITV による測定」1970. 5
- 8) 伊井ら：同上「高速度二次元計測装置」1970. 11
- 9) 鈴木，倉沢：テレビ誌，25（1971）7，p.558/568
- 10) 内藤，石川：日本眼科学会誌，72（1968）3，p.331/336
- 11) 曾我ら：「ITV 計測技術の高炉計測への応用」，学振第36委員会資料 1972. 10
- 12) Melvin L. Marcus, et al.: Circulation Vol. XLV, Jan. 1972, p.65/76
- 13) Paul H. Heintzen, et al.: Computer and Biomedical Research, 4（1971）p.474/492
- 14) 曾我，南田：「VTR を利用したパターン計測技術」第10回 SICE 学術講演会
- 15) 曾我，中村ら：「高炉羽口情報の定量化について」日本鉄鋼協会第84回講演大会 1972. 10