- 59) Polak, E.: *Computational Methods in Optimisation*, Academic (1971)
- 60) Pontryagin, L.S., V.G. Boltyanskii, R.V. Gamkrelidze and E.F. Mishchenko (関根智明訳): 最適過程の数学的理論, 総合図書 (1967)
- 61) Powell, M.J.D.: *Computer J.*, 7, 155 (1964)
- 62) Powell, M.J.D.: in 1)
- 63) Powell, M.J.D.: in 2)
- 64) Roode, J.D.: in 1)
- 65) Rosen, J.B.: *S. I. A. M. J. Appl. Math.*, 8, 180 (1960), 9, 514 (1961)
- 66) Rosen, J.B. and J.C. Ornea: *Manage. Sci.*, 10, 160 (1963)
- 67) Rosenbrock, H.H. and C. Storey: *Computational Techniques for Chemical Engineers*, Pergamon (1966)
- 68) Rudd, D.D. and C.C. Watson: *Strategy of Process Engineering*, John-Wiley (1968)
- 69) 佐藤敬, 市川淳信: 計測と制御, 7, 621 (1968)
- 70) 佐藤成夫: 化学工学, 33, 1279 (1969)
- 71) 榎本義一, 市川晃, 勝間昭一郎: システムと制御, 15, 148, 169 (1971)
- 72) 佐山幸敏, 大井敏: 制御工学, 11, 565 (1967)
- 73) 佐山幸敏, 大井敏: 計測と制御, 9, 725 (1970)
- 74) 佐山幸敏: 自動制御技術 14, 日本自動制御協会 (1972)
- 75) 佐山幸敏: プロセスシステム (高松武一郎編), 日刊工業 (1972)
- 76) 志水清孝: システム制御と数値計画法, コロナ社 (1971)
- 77) Sage, A.P.: *Optimum Systems Control*, Prentice-Hall (1968)
- 78) Shah, B.V., R.J. Buehler and O. Kempthorne: *S. I. A. M. J. Appl. Math.*, 12, 74 (1964)
- 79) Spendley, W., G.R. Hext and F.R. Himworth: *Technometrics*, 4, 441 (1962)
- 80) Tabak, D. and B.C. Kuo: *Optimal Control by Mathematical Programming*, Prentice-Hall (1971)
- 81) 梅田富雄: 最近の化学工学, 丸善 (1967)
- 82) Umeda, T., A. Shindo and A. Ichikawa: *Ind. Eng. Chem., Process Des. Develop.*, 11, 102 (1972)
- 83) Wilde, D.J. and C.S. Beightler: *Foundations of Optimization*, Prentice-Hall (1967)
- 84) Wismer, D.A.: *Optimization Methods for Large-Scale Systems*, McGraw-Hill (1971)
- 85) Wolfe, P.: *Recent Advances in Mathematical Programming* (R.L. Graves and P. Wolfe, eds.), McGraw-Hill (1963)
- 86) Wolfe, P.: *Quart. Appl. Math.*, 19, 239 (1961)
- 87) 矢木栄, 西村肇: 化学プロセス工学, 丸善 (1969)
- 88) Zangwill, W.I.: *Computer J.*, 10, 293 (1967)
- 89) Zangwill, W.I.: *Nonlinear Programming*, Prentice-Hall (1969)
- 90) Zoutendijk, G.: *Methods of Feasible Directions*, Elsevier (1960)
- 91) Zoutendijk, G.: *S. I. A. M. J. Control*, 4, 194 (1966)

5. Computer Aided Design*

梅 田 富 雄**

プロセスシステムの設計のために電子計算機が適用されて以来, 次第にその適用内容も高度化し, 設計方法も人間-機械システムとして総合的な立場で計算機を利用することを前提とするようになってきた。Computer Aided Design と呼ばれる内容は, 実際にプログラムシステムが開発されない限り実現できないものであり, 計算効率や論理演算に関する種々の問題を解決してこのような総合的なシステムを開発することが重要な問題になってくる。プロセスシステムの設計におけるこのようなシステムの役割は設計者との実時間対話形式が行なわれる場合に, 著しく重要になり, 従来人間が行なっていた仕事のかなりの部分が計算機によっておき換えられることになる。

したがって, ここでは Computer Aided Design Systems に関する最近の報告とこのようなシステムを利用してプロセス設計を行なう方法に関する最近の報告につ

いて展望する。

1. Computer Aided Design の範囲

プロセス設計に関する通常概念にはシステム構造を表わすプロセスフローの決定, システム全体の収束計算, システムの構成要素である単一装置の設計, システムの経済評価などが含まれるが, Computer Aided Design にはプロセスフローに関する情報が予め与えられ, それ以後の諸計算を計算機を使用して行なうものとして取り扱われてきた^{20, 21)}。最近 (1972年2月) の A. I. Ch. E. のダラスでの学会においては, Computer Aided Process Synthesis, Computer Aided Design の二つのセッションが持たれ内容の上でもシステム構造の決定に関するものとそれ以後の設計内容に区別されているが, プロセス設計を目的とした Computer Aided Design の範囲に, 前者の内容を含めることは, 近い将来計算機との対話によって設計が行なわれる可能性が大きいことを考えると, 必ずしも従来の狭い範囲に限定しな

* 昭和 47 年 8 月 11 日受理

** Tomio Umeda (正金員) 千代田化工建設プロセスエンジニアリンググループシステムチーム

いで、プロセス設計全般に対応する範囲に規定するのが妥当であると考えられる。なお Computer Aided Design は計算機援助の設計、計算機支援の設計などと訳されているが、以下略して CAD と称することにする。

CAD を行なう場合、主要な部分はプロセスの定常シミュレーションである。一般的なプロセスシステムの最適設計が適当な最適化の手法を適用したケーススタディによって実施されることが多いこと⁸³⁾、heuristic⁶⁴⁾ または、evolutionary search³⁸⁾ によりプロセスの構成問題を解くことが最近行なわれているが、設計者の判断材料を得るためにプロセスシミュレーションが必要であること、などからその重要性が増加している状況である。

2. プロセスのシミュレーション

定常状態におけるプロセスシミュレーションは、プロセスフローの形で与えられるシステム構造に対して、独立に与えられる条件のもとでシステム全体の物質および熱収支計算を行なうことであり、数学的には非線形連立代数方程式の解を求めることに相当する。この分野における代表的な研究については CAD の観点から Evans²⁰⁾、Sargent⁷¹⁾ によって 1967 年頃までの代表的な報告に関するレビューがなされているので、それ以後に発表されたプロセスシミュレーションに関する報告に限定して述べることにする。

プロセスシミュレーションを行なう場合

(1) プロセスシステムの構造の解析

リサイクル・ループの検出、システムの分割、計算順序の決定

(2) 非線形モデルの線形化と線形性の利用

(3) 収束計算の方法

に関する取り扱いについての検討が必要であり、それぞれについて研究が続けられている。

(1) に関しては、リサイクルループに起因する計算上のループの検出、全体のシステム方程式の、同時に解くいくつかのブロックへの分割とそれらブロックの計算順序の決定、および各ブロック内の計算順序の決定の諸問題が含まれている。ループ検出の問題はネットワークの同定問題 (network identification) と呼ばれ、1968 年以前に開発されたグラフに関連する行列を用いる Norman⁶¹⁾、Steward^{79,80)}、Himmelbrau²⁷⁾ の方法、Sargent と Westerberg⁷⁰⁾ のリスト処理に基づく方法に対する改良、利点の結合などが行なわれている。Forder と Hutchison²²⁾ の方法は Sargent と Westerberg⁷⁰⁾ の方法と Steward の方法^{79,80)} を結合したものであり、Jain と Eakman²⁵⁾ は関連行列とリスト処理の両方を結合し、演算時間と記憶容量の点でかなりの向上がなされたと報告している。平泉²⁹⁾ の論理行列を用いる方法は線形弧と

非線形弧の区別を行ない計算順序決定のアルゴリズム (PASS と呼ばれるもの) を提案している。

システム方程式のブロック化と計算順序の決定については Steward^{79,80)}、Lee⁴³⁾、Sargent と Westerberg⁷⁰⁾ の従来の方法からの進歩がいくつか報告されている。Christensen と Rudd¹²⁾ は Sargent と Westerberg⁷⁰⁾ のリスト処理に基づくアルゴリズムを拡張し、“index node”を用いるアルゴリズムの追加、収束計算の安定性と最適な計算順序についての検討を行なっている。この方法は後に紹介するプロセスシステム方程式の構造に関する解析に基づいた最適設計の変数決定方法に拡張されている。Forder と Hutchison²²⁾ は Lee と Rudd⁴⁴⁾ の方法に基づきオンラインで計算機と対話しながら計算順序を決定する方法について紹介している。また Batston⁶⁾ は化学プラントの定常シミュレーションに関する総合報告のなかで Sargent と Westerberg⁷⁰⁾ の動的計画法に基づくブロック内の計算順序決定アルゴリズムの修正を行ない、尿素プラントや多重効用缶システムに適用し比較検討している。最近の A. I. Ch. E. の学会ではシステム構造の解析に関連して Soylemez と Seider⁷⁸⁾ が順序決定の基準に方程式の非線形性を考慮したアルゴリズムを開発し、非線形性の程度 (degree of nonlinearity) を 4 つのコードで表わし各種アルゴリズムの選定に使用していると報告している。また Mah⁴⁷⁾ によって、この分野の研究のうちシステム方程式の構造解析に関連する研究が少ないことが指摘されるとともにマルチレベルの接近法に基づくシステムの分割と Newton-Raphson 法など各レベルにおける収束方法との関連についての議論が行なわれている。なおリサイクルループの問題に関連し、特定の状態量が指定されている場合のシミュレーションについては余り報告されていないことからここでは省略した。

(2) に関しては非線形モデルの線形化が必要であり、西村⁵⁷⁾ の発表した線形モデルの拡張が西村と内藤⁵⁸⁾、Maejima⁴⁵⁾ によって行なわれている。リサイクル計算の変数決定に関して線形方程式を効果的に解く方法が Edie と Westerberg¹⁹⁾ によって報告されている。主に特異な条件になることを避けるような変数の選定について詳しく検討されており、非線形モデルは基準値のまわりで 1 次近似して線形化されている。プロセスシミュレーションの基本的な二つの接近法—上述の (1) と (2) に代表されるもののうち後者については比較的研究が少ない。なお両接近法の比較については、Umeda と Nishio⁸⁵⁾ が線形化して取り扱う方法がよりよい収束性を与える十分条件を発表している。

(3) に関しては Cavett⁹⁾ によって数値的に種々の収束方法の比較が行なわれて以来 Wegstein 法が Kliesch⁴⁰⁾ によって多変数の収束問題に適用され、外挿ステップ幅

が制限されていることから bounded Wegstein 法と呼ばれる方法が研究され、さらに Orbach と Crowe⁶²⁾ によって、DEM (dominant eigenvalue method) と呼ばれるより一般的な収束法が報告されている。前者の方法は Wegstein 法が変数間の相互関係を無視していることから不安定な収束性を示すため外挿ステップ幅に制限を設けたものであり、後者の方法は変数間の相互関係を考慮したもので著しく収束が速いものと報告されている。一般的に収束方法を数式表現すれば、

$$x_{n+1} = x_n + \alpha F(y_n - x_n) \quad (1)$$

となり^{6, 62)} 行列 F の形によって従来利用されている代表的な収束方法を表わすことができる。すなわち

$F=I$: 逐次代入法

$F=[I-(\partial p/\partial x_n)]^{-1}$: Newton-Raphson 法

$F=[1-(y_n - x_{n-1})/(x_n - x_{n-1})]^{-1}I$: Wegstein 法

$F=[1-(y_n - x_n)/(y_{n-1} - x_{n-1})]^{-1}I$: DEM

ただし、 $y_n = p(x_n)$ で代数方程式が表わされるものとする。

Batstone ら⁶⁾ によって具体的な問題を解くためにこれらの収束方法が適用され比較検討されているが、quasi-Newton 法、DEM、逐次代入法などが安定な収束性を示し、Wegstein 法が発散する場合があることを示している。取り扱い問題によって、どの収束方法を使用すべきかについては未だ最終的な結論が得られていないように思われる。なお線形パラメータに関する収束方法についての研究は殆んど発表されていないようである。

なおプロセスシミュレーションに関する成書として、Himmelbrau と Bischoff²⁸⁾、Crowe ら¹⁴⁾ のものがある。

3. プロセスの最適設計

プロセスシステムの構造が与えられた場合、予め設定された目的関数（または評価関数）を最大または最小にするように設計条件を決定し、それに基づいてサブシステムの設計を行なうことがプロセスの最適設計であり、適当な最適化手法を使ってプロセスのシミュレーション、サブシステムの設計を行なうことになる。

プロセスの最適設計を行なう場合

- (1) 目的関数の設定
- (2) 独立変数の決定…等号制約条件の解析
- (3) 最適化手法の選定
- (4) 最適設計実施上の考慮…不確定性の取り扱い

に関して検討し適切な問題の定式化を行なう必要がある。(3)に関しては別にレビューが行なわれているので、ここでは省略し、CAD を効果的に行なう目的で(1), (2), (4)について述べることにする。

(1)に関しては、プロセスの経済評価を行なうための評価指標の設定についての報告が主要なものであり、Happel³⁴⁾の研究以後、投資利益 (venture profit) およ

びその現在価値 (venture worth) が広く用いられている経済評価の指標である。Rudd と Watson⁶⁹⁾、Beckett⁹⁾、Davies¹⁵⁾らのコメント以外に多くの記述がある。また McEwan と Beveridge³⁰⁾、Umeda と Komatsu⁸⁶⁾らはこの問題に関する数学的な取り扱いから、経済的な意味づけを行なっている。本来目的関数はスカラー関数で定義するよりは、同時に満足すべきいくつかの項目を含めたベクトル関数で定義できれば、より現実的な結果が得られると想像されるが、本質的に困難とも考えられこの点に関する研究は制御関係での報告（例えば文献(4)参照）を除いて余り多く発表されていないようである。

Seinfeld と McBride⁷³⁾は、年間利益を最大にするとともにパラメータ変化に対する感度を最小にする定常最適問題について報告している。なおスカラー関数で目的関数を定義する方法については市川³²⁾の報告がある。

(2)に関する内容は前述のプロセスシミュレーションにおける計算順序の決定とも関連が深く最適設計問題の定式化の重要課題の一つである。Christensen¹²³⁾は最適設計問題を解析し、システム方程式を切り離さないで解を求める計算順序決定のアルゴリズムと、これができない場合に分離する方程式の数を最小にする計算順序決定のアルゴリズムを開発している。大規模、複雑なシステムの最適化の接近法の一つとしてシステムをいくつかのサブシステムに分割して取り扱うマルチレベルの接近法が Lasdon ら⁴²⁾によって報告されている。分割方法と計算効率の關係に着目した Jung ら⁸⁰⁾、Umeda ら⁸⁴⁾の報告は、上述のアルゴリズムと関連が深いと考えられる。

(4)に関してはプロセスの最適設計の仮定条件であるパラメータや設計条件の変化に対する取り扱いが一つの重要な問題である。これは不確定性を含むシステムの最適問題として取り扱われており、設計余裕の見込み方や予めパラメータの不確定性を考慮した合理的な設計法に関する Rudd と Watson⁶⁹⁾、Wen と Chang⁸⁸⁾、Takamatsu ら⁴¹⁾、Chen ら¹¹⁾、Williams と Henry⁸⁹⁾の報告、高松ら⁸²⁾の各種方法の比較、具体例の報告が代表的なものである。

4. プロセスの最適構成

前述の CAD の範囲は、予めシステム構造が与えられた後の設計問題であったが、プロセス設計における一つの重要な部分であるシステム構造の決定問題に対して CAD を実施することが最近の問題となっている。A. I. Ch. E. のグラスでの学会の内容を含めたこの問題に関しては別にレビューがなされることになっているので詳しい内容はそれを参照していただくとして、ここでは

Fig. 1 デザインシステムの組織図

CAD システム (後述) によってプロセスの構成問題を解く場合、基本的に二つの接近法が考えられる。一つは予めいくつかのシステム構造の候補をあげ、これについて最適設計を行ない結果を比較検討して最適なものを選定する接近法であり、反応システムに関する Paynter と Haskins⁸²⁾、熱交換システムに関する Kobayashi ら⁸⁰⁾、蒸留システムに関する Hendry と Hughes⁸⁵⁾、一般的なシステムに関する Umeda ら⁸³⁾ の報告がこの接近法に属するものである。他の一つは、初めに設定した適当なシステム構造から各種の判断に基づいて逐次システム

構造を改良していく接近法である。判断基準を与えるための研究に属するものとして、熱交換システムに関する西村ら⁵⁹⁾、Nishida ら⁵⁶⁾、蒸留システムに関する西村と平泉⁵⁸⁾、Maikov ら⁴²⁾ の報告がある。システム構造を変化させる方策として King ら⁸⁸⁾ による組織的な発見的接近法 (systematic evolutionary method) が実際的な CAD の方法であると考えられる。この方法は目的関数を構成している各項目に着目し逐次目的関数を向上させるようなシステム構造の改良を試行するもので具体例の詳細な検討報告は CAD の有用性を示していると考えられる。

Table 1 Major systems for computer-aided process design

Short Name	First Disclosed	Full Name	Institution(s) Where Developed	Principal Developer(s)	Computer(s) and/or Language(s) Used	References	
						Source	Secondary
Flexible Flowsheet	1958	None	M. W. Kellogg Co.	M. G. Kesler, M. M. Kesler, P. R. Griffiths	Burroughs 205 Electrodata	37	
UOS	1960	Unit Operations Simulator	Bonner and Moore Engrg. Assoc., Houston, Tex.	J. F. Moore, J. S. Bonner, L. P. Karvelas			20
CHEOPS	1961	Chemical Engineering Optimization System	Shell Devlpt. Co., Emeryville, Calif.	R. R. Hughes, E. Singer, H. H. Engel, C. O. Hurd, L. Lopez, R. A. Mugele, R. Vanderwater, J. Wright	IBM 704/90/94/40 (FORTRAN II) +FAP (FORTRAN IV)	30	20
GIFS	1962	Generalized Interrelated Flow Simulation (superseded by CHIPS)	Service Bureau Corp.	W. H. Dodge(?)		17 74	20
PACER	1963	Process Assembly Case Evaluator Routine	Purdue Univ. and Dartmouth College	P. T. Shannon, H. A. Mosler, D. R. Franz	7 (FORTRAN II) GE265 (ALGOL)	52	14 20 76
CHEVRON	1964	Generalized Heat and Material Balancing System	Chevron Research Co., Richmond, Calif.	A. E. Ravicz, R. L. Norman	IBM 7090/94 (FORTRAN II)	65	20
SPEED-UP	1964	Simulation Programme for the Economic Evaluation and Design of Unsteady-State Processes.	Imperial College, London	R. W. H. Sargent A. W. Westerberg		70 87	20 69
CHIPS 1 CHIPS 2	1966 } 1968 }	Chemical Engineering Information Processing System	Service Bureau Corp.	K. J. Nabavian	IBM 7090/94, etc. (FORTRAN)		20 69
MAEBE	1966	Material and Energy Balance Execution	Univ. of Tennessee	L. N. Kenny, J. W. Prados	(FORTRAN IV)		20
PACER (MAD)	1966	Revision of PACER in MAD language	Univ. of Houston	R. L. Motard	IBM 7090/94 (MAD)		20
MACSIM	1967	McMaster Simulator (Version of PACER)	McMaster Univ.	A. I. Johnson	IBM 7040 (MAP and FORTRAN IV)		14
NETWORK 67	1967	None	Imperial Chemical Industry	J. G. P. Barnes H. R. A. Brown	ALGOL	3, 5	72
ChemE	1968	Chemical Engineering Simulator	Petrochem Consultants, Houston, Tex.		IBM 7094 (FORTRAN IV)		21

GPFS	1968	Generalized Process Flow Simulator	Sun Oil Co.		(FORTRAN)	1
CHES	1968	Chemical Engineering Simulation System	Univ. of Houston	R. L. Motard	IBM 7044/94 and 360, Univac 1108, Sigma 7, CDC 6400 (FORTRAN IV)	53
GEMCS	1968	General Electric/McMaster Simulator	Canadian General Elec., McMaster Univ.	A. I. Johnson, T. Toong	GE 265 Mark II, B5500, IBM 360/30 (FORTRAN)	14
JUSE-GIFS	1968	Generalized Interrelated Flow Simulator	Inst. of Union of Japanese Scientists & Engrs	E. Ohshima et al	FORTRAN	55
DISCOSSA	1969	Digital Simulation for Computation of Steady-State Analysis	Oregon State Univ.	E. Elzy, Y. J. Kwon	CDC 3300 (with time-sharing) (FORTRAN)	19 14
ASCEND	1969	Automatic System for Chemical Engineering Design	Univ. of Florida	A. Westerberg		21
PACER 245	1969	Commercial Version of PACER	Digital Systems, Inc.	P. T. Shannon, S. Gembicki	FORTRAN II	14
FLOWTRAN	1969	Flowsheet Translator	Monsanto Co.	B. Duncan, H. Morris, R. Ody, R. Cavett, et al.	FORTRAN	66 2 21
CHES-2	1969	Commercial Version of CHES	Chem Share, Inc.			
GEPDS	1970	General Electric Process Design System	General Electric Co.	J. H. Ebar, R. N. Maddox	G. E. Time-sharing System	23
FLOWPACK	1970	Process Flowsheeting Package	Imperial Chemical Industry	C. Davies, F. A. Pertis	Time Sharing	16
SUCES	1970	Sydney University Chemical Engineering System	University of Sydney	D. B. Batstone, G. Fenton, R. G. H. Prince	FORTRAN IV	6
GPS	1971	General Process Simulator	Lummus Co.	J. Newman, J. J. Schorsch		54
PROSLATOR-S	1971	Process Simulator for Steady State System	Nippon Univac Sogo Kenkyusho Inc.	H. Yokogawa, S. Watabe, M. Ueda	Univac 1108/1106	90
AIDES	1972	Adaptive Initial Design Synthesizer	University of Wisconsin	D. F. Rudd, J. J. Sirolo, G. J. Powers	Burroughs 5500 Time sharing	64 77
CAPE	1972	Computer Aided Process Engineering System	Chiyoda Chem. Eng. and Constr'n. Co.	T. Maejima, A. Shindo, T. Umeda	FORTRAN IV	46

Fig. 2 プロセスエンジニアリング業務の諸機能とデータ

Fig. 3 CAD システム の 一 例

Sirola ら⁷⁷⁾, Powers と Rudd⁶⁴⁾ によって開発された AIDES と呼ばれるシステムには上述のような判断基準が含まれ、学習的な探索法 (heuristics) に基づいて実際のシステムが構成されている。また、ラグランジェ乗

数の感度としての性質を利用して学習的にシステム構造を改良していく方法が Ichikawa と Fan⁸³⁾, McGalliard CAD の観点から、いくつかの報告を紹介するに留める。

と Westerberg¹⁹⁾ によって報告されている。この分野の研究は未だ始められたばかりの段階にあるが、人間-機械システムとして CAD をながめると将来の一つの方向を示していると考えられる。

5. CAD システム

CAD を実現するためのソフトウェアに関しては、最近とくに数多くの報告が化学プロセス関係以外でも行なわれている。各種のプロセスシステムの設計のためのソフトウェアの主な機能はプロセスシミュレーションであり、最適設計や各種ケーススタディに基づく最適構成を実施するためには計算機の演算時間、記憶容量の点、利用し易さなどを考慮してシステムを開発する必要がある。

ソフトウェア開発に関する概説は Evans ら (前出²⁰⁾ およびその改訂されたもの²¹⁾ に加えて Beckett⁹⁾, Davies と Perris¹⁶⁾, Sargent⁷²⁾, Henly と Motard²⁴⁾ らによって報告されている。Henly と Motard²⁴⁾ は大規模なソフトウェアシステムを設計する場合のガイドラインについて述べており、階層的なデータ構造の組み立て、計算順序の決定、感度解析などについても言及している。またシステムの特徴の一つとしてデータ指向型とプログラム指向型のいずれの方式でシステムを開発すべきかの議論が Ripps と Wood, Jr.⁶⁷⁾ によって行なわれている。CAD のためのエンジニアリング情報システムの開発に関しては Zellnik⁹¹⁾ がプロジェクトファイルの概念の応用、プログラムの結合、ファイル構造などについて総合的な立場で報告を行なっている。Fig. 1 は CAD システムの組織図であり、開発に当って Henly と Motard²⁴⁾ のガイドやソフトウェア開発技術が重要になってくるものと思われる。Maejima ら⁴⁶⁾ によって発表されている Fig. 2

に示すエンジニアリング業務のスコープに対し、これを支える CAD システムの構造を Fig. 3 に示したが、CAD システムの内容を理解する上で参考になると思う。Table 1 は Evans²¹⁾ によってまとめられた現存する CAD システムを紹介した表に若干の追加を行なったものであり、参考文献を通じて各システムの内容をある程度知ることができる。特殊用途の CAD システムについても、石油精製関係に対して Mikolaj³¹⁾, Newman と Schorsch⁵⁴⁾ 熱交換器設計関係に対して 石塚と村田³⁴⁾, 精糖工業における CAD システムに関して Bastone と Prince⁷⁾ がそれぞれ報告している。実時間で設計者が計算機と対話しながら設計を行なうシステムに関しては、Hutchson と Forder³¹⁾ がディスプレイを使った CAD (grafical computer aided design) について、その概要とプロセスフローに含まれるネットワーク情報の計算機へのインプットを行なった状況を発表している。またオンライン実時間処理方式によるプロセス設計に関しては GE のシステム²³⁾, I. C. I. のシステム¹⁶⁾ の報告がある。

むすび

プロセスシステムの CAD (Computer Aided Process Design) に関する最近の報告を中心に概要を述べた。プロセスの各種の構成要素についての数式モデルは簡単に精度のよいものが CAD に有効であり、そのために数式モデル開発に関連の深い同定問題の最近の研究についても触れる必要があると思うが限られた頁数のため、ここでは省略した。計算機利用技術、ハードウェアの進歩とともに CAD も近い将来より高度な形態をとるものと期待され、設計者や CAD システムに新しい要求が加えられるものと思う。

引用文献

- 1) Anonymous: *Chem. Eng. News*, 46, Nr. 15, 46 (1968)
- 2) Anonymous: *ibid.*, 48, Nr. 14, 38 (1970)
- 3) Andrew, S.M.: *Trans. Instn. Chem. Engrs.*, 46, Nr. 4, T-123 (1968)
- 4) 馬場義一: システムと制御, 16, Nr. 5, 409 (1972)
- 5) Barnes, J.G.P.: *Computer Journal*, 8, 66 (1965)
- 6) Batstone, D.B., G. Fenton and R.G.H. Prince: IFAC Sym., "Digital Simulation of Continuous Processes", Preprint Nr. B-2 (1971)
- 7) Batstone, D.B. and R.G.H. Prince: *CHIMECA'* 70, 107 (1970)
- 8) Beckett, K.A.: *The Chem. Engr.*, Nr. 228, CE-164 (1969)
- 9) Cavett, R.H.: *Proc. Am. Pet. Inst.*, 43 (III), 57 (1963)
- 10) Cavett, R.H.: N.G.P.A. 49th Annual Meeting Preprint (1970)
- 11) Chen, M.S.K., L.E. Erickson and L.T. Fan: *Ind. Eng. Chem. Process Design and Develop.*, 9, 514 (1970)
- 12) Christensen, J.H. and D.F. Rudd: *A. I. Ch. E. Journal*, 15, 94 (1969)
- 13) Christensen, J.H.: *ibid.*, 16, 177 (1970)
- 14) Crowe, C.M., A.E. Hamielec, A.I. Johnson, D.R. Woods and P.T. Shannon: "Chemical Plant Simulation", Prentice Hall (1970)
- 15) Davies, C.: *The Chem. Engrs.*, Nr. 248, 149 (1971)
- 16) Davies, C. and F.A. Perris: IFAC Sym., "Digital Simulation of Continuous Processes", Preprint Nr. D-1 (1971)
- 17) Dodrill, W.H.: *Proc. Fall Joint Computer Conference*, 22, 275 (1962)
- 18) Edie, F.C. and A.W. Westerberg: A. I. Ch. E. 67th National Meeting Preprint Nr. 42e (1970)
- 19) Elzy, E.: "DISCOSSA" Dept. of Chem. Eng., Oregon State Univ. (1969)
- 20) Evans, L.B., D.G. Steward and C.R. Sprague: *Chem. Eng. Progr.*, 64, Nr. 4, 39 (1968)
- 21) Evans, L.B.: Notes used in summer program, "New Development in Modeling, Simulations and Optimization of

- Chemical Processes", Mass. Inst. Tech. (1971)
- 22) Forder, G. J. and H. P. Hutchison: *Chem. Eng. Sci.*, **24**, 771 (1969)
- 23) General Electric Co.: User's Guide Process System-GEP DS (Version 3), Information Service Dept. (1970)
- 24) Happel, J.: "Chemical Process Economics", John Wiley and Sons (1958)
- 25) Hendry, J. E. and H. H. Hughs: A. I. Ch. E. 71st National Meeting Preprint Nr. 1b (1972)
- 26) Henly, E. J. and R. L. Motard: Workshop (IFAC Kyoto Sym.) "Computer Control System for Preventing Air Pollution," (1970)
- 27) Himmelbrau, D. M.: *Chem. Eng. Sci.*, **21**, 425 (1966)
- 28) Himmelbrau, D. M. and K. B. Bischoff: "Process Analysis and Simulation", John Wiley and Sons (1967)
- 29) 平泉泰, 森重, 西村肇: 化学工学, **33**, 299 (1969)
- 30) Hughes, R. R., E. Singer and M. Souders: 6th World Pet. Congress (Ⅷ) 93 (1963)
- 31) Hutchison, M. A. and G. J. Forder: I. Chem. E. Sym. Ser. Nr. 23, 169 (1967)
- 32) 市川博信: 化学工学, **33**, 216 (1969)
- 33) Ichikawa, A. and L. T. Fan: *Chem. Eng. Sci.*, to be published
- 34) 石塚敬, 村田昌義: 化学工学, **15**, Nr. 6, 77 (1971)
- 35) Jain, Y. V. S. and J. M. Eakman: A. I. Ch. E. 68th National Meeting Preprint Nr. 41a (1971)
- 36) Jung, B. S., W. Mirosh and W. H. Ray: *Can. J. Chem. Eng.*, **48**, 844 (1972)
- 37) Kesler, M. G. and P. R. Griffiths: *Proc. Am. Pet. Inst.*, **43**, (Ⅲ), 49 (1963)
- 38) King, C. J., D. W. Gantz and F. J. Barnes: *Ind. Eng. Chem. Process Design and Develop.*, **11**, Nr. 2, 271 (1972)
- 39) Kobayashi, S., T. Umeda and A. Ichikawa: *Chem. Eng. Sci.*, **28**, 1367 (1971)
- 40) Kliesch, H. C.: Ph. D. thesis, Tulane Univ. (1967)
- 41) Kwon, Y. J.: Ph. D. thesis, Oregon State Univ. (1969)
- 42) Lasdon, L. S.: "Optimization Theory for Large Systems", McMillan (1970)
- 43) Lee, W., J. H. Christensen and D. F. Rudd: *A. I. Ch. E. Journal*, **12**, 1104 (1966)
- 44) Lee, W. and D. F. Rudd: *ibid.*, **12**, 1184 (1966)
- 45) Maejima, T.: M. S. thesis, Mass. Inst. Tech. (1970)
- 46) Maejima, T., A. Shindo and T. Umeda: 1st Pacific Chem. Eng. Congress Preprint Nr. 14-2 (1972)
- 47) Mah, R. S. H.: A. I. Ch. E. 72nd National Meeting Preprint Nr. 46d (1972)
- 48) Maikov, V. P., G. G. Vilkov and A. V. Gal'tsov: *Int. Chem. Eng.*, **12**, 282 (1972)
- 49) McGalliard, R. L. and A. W. Westerberg: A. I. Ch. E. 71st National Meeting Preprint, Nr. 2a (1972)
- 50) McEwan, M. W. and G. S. G. Beveridge: *Chem. Eng. Sci.*, **20**, 987 (1965)
- 51) Mikolaj, P. G.: A. I. Ch. E. 65th National Meeting Preprint Nr. 12e (1969)
- 52) Mosler, H. A.: M. S. thesis, Purdue Univ. (1964)
- 53) Motard, R. L., M. H. Lee, R. W. Barkley and D. M. Ingels: "CHESS" System Guid, Tech. Pub. Co. (1968)
- 54) Newman, J. and J. J. Schorsch: Am. Pet. Inst. 36th Meeting Preprint, Nr. 46-71 (1971)
- 55) 日科技研: JUSE-GIFS プログラム利用ガイド (1968)
- 56) Nishida, N., A. Kobayashi and A. Ichikawa: *Chem. Eng. Sci.*, **28**, 1841 (1971)
- 57) 西村肇, 平泉泰, 矢木栄: 化学工学, **31**, 183 (1967)
- 58) 西村肇, 平泉泰: *ibid.*, **33**, 459 (1969)
- 59) 西村肇, 内藤文明: *ibid.*, **34**, 637 (1970)
- 60) 西村肇, 平泉泰, 鈴木栄二: *ibid.*, **34**, 1099 (1970)
- 61) Norman, R. L.: *A. I. Ch. E. Journal*, **11**, 450 (1965)
- 62) Orbach, O. and C. M. Crowe: *Can. J. Chem. Eng.*, **49**, 509 (1971)
- 63) Paynter, J. D. and D. E. Haskins: *Chem. Eng. Sci.*, **25**, 1415 (1970)
- 64) Powers, G. J. and D. F. Rudd: A. I. Ch. E. 71st National Meeting Preprint Nr. 1b (1972)
- 65) Ravicz, A. E. and R. L. Norman: *Chem. Eng. Progr.*, **80**, Nr. 5, 71 (1964)
- 66) Rorschach, R. L. and R. E. Harris: *Oil and Gas Journal*, **88**, Nr. 33, 62 (1970)
- 67) Rippe, D. L. and B. H. Wood, Jr.: *Ind. Eng. Chem. Process Design and Develop.*, **11**, 179 (1972)
- 68) Rosen, E. M.: A. I. Ch. E. 71st National Meeting Preprint, Nr. 3a (1972)
- 69) Rudd, D. F. and C. C. Watson: "Strategy of Process Engineering", John Wiley and Sons (1968)
- 70) Sargent, R. W. H. and A. W. Westerberg: *Trans. Instn. Chem. Engrs.*, **42**, Nr. 179, 190 (1964)
- 71) Sargent, R. W. H.: *Chem. Eng. Progr.*, **83**, Nr. 9, 71 (1968)
- 72) Sargent, R. W. H.: *The Chem. Engr.*, Nr. 224, CE-424 (1968)
- 73) Seinfeld, J. H. and W. L. McBride: *Ind. Eng. Chem. Process Design and Develop.*, **9**, 53 (1970)
- 74) Service Bureau Corp.: "GIFS-Generalized Interrelated Flow System", Scientific Service, Tech Bulletin, Nr. 109
- 75) Shannon, P. T. and D. R. Frantz: "The PACER System Manual", Dartmouth College (1966)
- 76) Shannon, P. T., A. I. Johnson, C. M. Crowe, T. W. Hoffman, A. E. Hamielec and D. R. Woods: *Chem. Eng. Progr.*, **62**, Nr. 4, 49 (1966)
- 77) Sirola, J. J., G. J. Powers and D. F. Rudd: *A. I. Ch. E. Journal*, **17**, 677 (1971)
- 78) Soylemez, S. and W. D. Seider: A. I. Ch. E. 71st National Meeting Preprint, Nr. 3c (1972)
- 79) Steward, D. V.: *S. I. A. M. Review*, **4**, Nr. 4, 321 (1962)
- 80) Steward, D. V.: *J. S. I. A. M.*, **13**, 345 (1965)
- 81) Takamatsu, T., I. Hashimoto and H. Ohno: *Ind. Eng. Chem. Process Design and Develop.*, **9**, 368 (1970)
- 82) 高松武一郎, 橋本伊蔵, 塩谷清男: システムと制御, **18**, 141 (1972)
- 83) Umeda, T., A. Hirai and A. Ichikawa: *Chem. Eng. Sci.*, **27**, 795 (1972)
- 84) Umeda, T., A. Shindo and E. Tazaki: *Ind. Eng. Chem. Process Design and Develop.*, **11**, 1 (1972)
- 85) Umeda, T. and M. Nishio: *ibid.*, **11**, 153 (1972)
- 86) Umeda, T. and S. Komatsu: *Chem. Eng. Sci.*, **27**, 1176 (1972)
- 87) Westerberg, A. W.: Ph. D. thesis, Univ. of London (1964)
- 88) Wen, C. Y. and T. M. Chang: *Ind. Eng. Chem. Process Design and Develop.*, **7**, 49 (1968)
- 89) Williams, R. A. and E. J. Henry: A. I. Ch. E. 71st National Meeting Preprint Nr. 3d (1972)
- 90) Yokoegawa, H., S. Watabe and M. Ueda: *Soken Kiyo*, **21**, 141 (1972)
- 91) Zellnik, H. E.: A. I. Ch. E. 60th Annual Meeting Preprint (1967)