- 54) 宮原是中, 佐渡友秀夫: 化学工学, 35 (12), 1347 (1971)
- 55) 宮原是中, 佐渡友秀夫: 同上, 36 (7), 792 (1972)
- 56) Morisue, T., K. Noda and K. Ishida: *J. Chem. Eng. Japan*, 5 (3), 219 (1972)
- 57) Nagata, I., T. Ota and T. Takahashi: *ibid.*, 5 (3), 227 (1972)
- 58) Nagata, I. and T. Ota: *ibid.*, 5 (3), 232 (1972)
- 59) Nagata, I.: *ibid.*, 6 (1), 18 (1973)
- 60) Nagata, I. and T. Ohta: *J. Chem. Eng. Data*, 16 (2), 164 (1971)
- 61) 長浜邦雄, 須田晴二郎, 白田利勝, 平田光穂: 石油誌, 14 (4), 252 (1971)
- 62) Nishi, Y.: *J. Chem. Eng. Japan*, 5 (4), 334 (1972)
- 63) 西泰英: 化学工学, 35 (11), 1257 (1971)
- 64) 西泰英: 同上, 36 (4), 401 (1972)
- 65) Ochi, K. and K. Kojima: *J. Chem. Eng. Japan*, 4 (2), 122 (1971)
- 66) Ochi, K., M. Kato and K. Kojima: *ibid.*, 4 (4), 301 (1971)
- 67) 越智健二, 小島和夫: 化学工学, 35 (5), 583 (1971)
- 68) Packer, L. G., S. R. M. Ellis and L. D. J. Soares: *Chem. Eng. Sci.*, 28 (2), 597 (1973)
- 69) Palmer, D. A. and B. D. Smith: *Ind. Eng. Chem., Process Design Develop.*, 11 (1), 114 (1972)
- 70) Palmer, D. A., W. I. C. Yuan and B. D. Smith: *Ind. Eng. Chem., Fundamentals*, 11 (3), 397 (1972)
- 71) Palmer, D. A. and B. D. Smith: *J. Chem. Eng. Data*, 17 (1), 71 (1972)
- 72) Perillox, C. J. and H. A. Deans: *Ind. Eng. Chem., Fundamentals*, 11 (1), 138 (1972)
- 73) Peter, S. and H. Wenzel: *Chem. Ing. Techn.*, 43 (10), 623 (1971)
- 74) Raal, J. D., R. K. Code and D. A. Best: *J. Chem. Eng. Data*, 17 (2), 211 (1972)
- 75) Ramalho, R. S. and J. F. Drolet: *ibid.*, 16 (1), 12 (1971)
- 76) Rong, M. and G. A. Ratcliff: *Can. J. Chem. Eng.*, 49 (6), 825 (1971)
- 77) Ruether, J. A. and B. C.-Y. Lu: *ibid.*, 50 (2), 266 (1972)
- 78) Sadler, L. Y., III, D. W. Luff and M. D. McKinley: *J. Chem. Eng. Data*, 16 (4), 446 (1971)
- 79) Sagnes, M. and V. Sanchez: *ibid.*, 16 (3), 351 (1971)
- 80) Samuels, M. R.: *Ind. Eng. Chem., Fundamentals*, 11 (3), 422 (1972)
- 81) Samuels, M. R., D. L. Ulrichson and F. D. Stevenson: *A. I. Ch. E. Journal*, 18 (5), 1004 (1972)
- 82) Scheller, W. A., J. L. Petricek and G. C. Young: *Ind. Eng. Chem., Fundamentals*, 11 (1), 53 (1972)
- 83) Schreiber, L. B. and C. A. Eckert: *Ind. Eng. Chem., Process Design Develop.*, 10 (4), 572 (1971)
- 84) Sokolov, N. M., N. N. Sevryugova and A. N. M. Zhavoronkov: *Inst. Chem. Engrs. Symp. Ser. No. 32*, p. 3: 110, *Inst. Chem. Engrs., London* (1969)
- 85) Strubl, K., V. Svoboda and R. Holub: *Collection Czechoslov. Chem. Commun.*, 37 (11), 3522 (1972)
- 86) Strubl, K., P. Voňka, V. Svoboda and R. Holub: *ibid.*, 38 (2), 468 (1973)
- 87) Suška, J., J. P. Novák, J. Matouš and J. Pick: *ibid.*, 37 (8), 2664 (1972)
- 88) Tai, B. T., R. S. Ramalho and S. Kaliaguine: *Can. J. Chem. Eng.*, 50 (6), 771 (1972)
- 89) Tao, L. C.: *Inst. Chem. Engrs. Symp. Ser. No. 32*, p. 3: 35, *Inst. Chem. Engrs., London* (1969)
- 90) Tassios, D.: *A. I. Ch. E. Journal*, 17 (6), 1367 (1971)
- 91) Tassios, D. P.: *Ind. Eng. Chem. Process Design Develop.*, 11 (1), 43 (1972)
- 92) 栃木勝己, 齊藤佳昭, 小島和夫: 化学工学, 35 (6), 634 (1971)
- 93) Tsounopoulos, C. and J. M. Prausnitz: *Ind. Eng. Chem., Fundamentals*, 10 (4), 593 (1971)
- 94) 内山 久: 蒸留技術, 1 (1~3) (1971), 2 (1) (1972)
- 95) Ulrichson, D. L. and F. D. Stevenson: *Ind. Eng. Chem., Fundamentals*, 11 (3), 287 (1972)
- 96) Van Ness, H. C., S. M. Byer and R. E. Gibbs: *A. I. Ch. E. Journal*, 19 (2), 238 (1973)
- 97) Vera, J. H. and J. M. Prausnitz: *J. Chem. Eng. Data*, 16 (2), 149 (1971)
- 98) Wiehe, I. A., S. Dorai, C. G. Rader and A. Chandrasekhar: *Chem. Eng. Sci.*, 26 (6), 901 (1971)
- 99) Wong, K. F. and C. A. Eckert: *Ind. Eng. Chem., Fundamentals*, 10 (1), 20 (1971)
- 100) Yuan, W. I. C., D. A. Palmer and B. D. Smith: *ibid.*, 11 (3), 387 (1972)

2. 高 圧 気 液 平 衡*

吉 村 尚 真**

1. 測定関係

高圧気液平衡の測定に関する研究の歴史は1869年の Andrews⁴⁻¹⁷⁾の炭酸ガスのP-V-Tに関する研究とか, 1880年の Cailletet⁶⁻²¹⁾の逆行凝縮に関する研究などを初期のものとみなせば約一世紀に亘るが, 活発に行なわれるようになったのは石油成分系の大量処理の必要性が生じた1930年頃からであり, また我が国においては十

数年前からであり一般にそれ程古いものではない。しかし近年工業用装置の高圧下の操業が進められるにつれて研究は急速に進んでいる。

圧力範囲は工業的には20~50気圧程度の場合が多く, 特に高い場合で100~150気圧であるが, 測定データは Streett の $\text{He} + \text{CH}_4$ ⁸⁻⁵⁸⁾ 系の10,000気圧におよぶものもある。一方, 温度範囲は大ざっぱに分類すると水添分解関係~500°C, 石油精製関係~200°C, NaOHによる H_2S などの除去関係~60°C, レクタゾールプロセス~

* 昭和48年8月13日受理

** Shoshin Yoshimura (正会員) 広島大学工学部

-80°C, LNG 関係 -160°C, 深冷分離, 空気分離関係 ~ -196°C, 極低温系などであるが, 高温系 (~500°C) と極低温系では測定データは非常に少く前者では H_2 + 炭化水素系の Grayson^{G-13)}, 後者では Streett の $Ne+H_2$ ^{S-55)}, $He+H_2$ ^{S-34)} などである。

測定装置を測定型式により分類し (表 1 参照) それぞれについていくつかの代表的文献をつぎに示す。循環型; Hurt^{H-33)}, 平田^{H-16, 28)}, Muirbrook^{M-22)}, Streett^{S-32)}, Toyama^{T-17)}, Thorogood^{T-3)}, 頼実^{Y-19-21)}, 露点沸点型; Ellington^{E-12)}, Kay^{K-10)}, 斉藤^{A-18, 19)}, 流通型; Burch^{B-22)}, 葛岡^{K-42)}, Stutzman^{S-40)}, Stetchel^{S-25)}, 静置型; DePriester^{D-8)}, 上西^{K-36)}, Kohn^{K-25)}, Saito^{S-44)}, Zenner^{Z-3)}。

装置の構成部設計に関する技術の一般参考書としては“高圧実験技術とその応用”^{N-11)}, “Cryogenic Engineering”^{S-46)}, “Experimental Techniques in Low Temperature Physics”^{W-17)} などがある。

装置および測定法に関する解説・レビューの類としては, Häla^{H-23)} の“Vapor-Liquid Equilibrium”は, 1965 年ごろまでの各型の平衡セルを紹介しており, 平田^{H-25)} の総説“高圧気液平衡測定装置”はわが国最初のもの (1964) であり, これには, 測定装置を原理的に前記 4 大別し, 6 種を代表として取り上げ解説し, さらに装置に詳しい文献もまとめている。その他須田^{S-56)} の“高圧気液平衡”は実測上の問題を中心に各種の測定法が検討されており, 頼実^{Y-22)} の“高圧における気液平衡の測定”は低温 (~-196°C), 高圧 (~370 気圧) に主眼をおいている。レビューとしては物性定数 1 集 (1963)~10 集 (1972)^{B-36)} が各年ごとの諸事項要約付のデータ文献一覧表をのせており, 小島^{K-41)}, 片山^{K-37)} はそれぞれ ~1968, 1968 年 1 月~1971 年 3 月ごろまでの文献についてレビューしている。なお, 平田^{H-34)} の“炭化水素の物性” (その 1~8) はエンジニアリング・データとして貴重である。

実測データの収集としては J. C. Chu らの“Vapor-Liquid Equilibrium Data”^{C-30)}, “Distillation Equilibrium Data”^{C-29)}, Kogan らの“Handbuch der Dampf-Flüssigkeits-Gleichgewichte”^{K-40)}, 化学工学協会編“物性定数” 1~10 集^{B-36)}, 蒸留技術 No. 1~7^{J-4)} などがある。またデータの所在については平田・頼実編集の蒸留工学ハンドブック^{H-26)}, 前述の Häla らの書物^{H-23)} などがあり, 低温関係に限定したものとして Ruheman^{R-39)} の“Bibliography of Vapor-Liquid Equilibrium of Low Boiling Mixtures and Notes on K-value Correlations”とか, 平田^{H-27)} の炭化水素の物性 (その 1) 低温における気液平衡関係などがある。石油誌上には平田^{H-28, 37~40)} の炭化水素系に関するデータが数多く発表されている。

今回調査した文献は下記のとおりでであるが, 紙面の都合で全部は蒸留技術懇話会編集の“蒸留技術”に近く発表される予定である。

Chemical Abstract, 54, (17)(1960)~63, (2) (1965); 科学技術文献速報, 4, (1) (1961)~8, (29) (1965); A. I. Ch. E. J., 1, (1) (1955)~19, (2) (1973) [14, (1) 欠]; Appl. Sci. Res., 17, (1967)~27, (5) (1973); Bull. Japan Petrol. Inst., 13, (1) (1971)~14, (2) (1972); Brit. Chem. Eng., 12, (1) (1967)~17, (9) (1972); Process Technology International, 17, (10) (1972)~18, (3) (1973); Cryogenics, 5, (1)(1965)~13, (4) (1973); Chem. Eng., 75, (1)(1968)~80, (13) (1973); Chem. Eng. Progr., 63, (1) (1967)~69, (4) (1973) [64, (12) 欠]; Chem. Eng. Sci., 22, (1) (1967)~28, (4) (1973); Can. J. Chem. Eng., 41, (1) (1967)~50, (6) (1972); Chem. Ing. Tech., 39, (1) (1967)~45, (9+10) (1973); Hydrocarbon Processing, 47, (1) (1968)~52, (5) (1973); Ind. Eng. Chem., 59, (1) (1959)~62, (1970); Ind. Eng. Chem., Fundamentals, 6, (2)(1967)~12, (1)(1973); J. Chem. Eng. Data, 5, (1) (1960)~18, (2)(1973); J. Chem. Eng. Japan, 1, (1)(1968)~8, (2) (1973); J. Chem. Thermodynamics, 1, (1)(1969)~5, (3) (1973); 化学工学, 34, (1) (1970)~37, (7) (1973); 石油誌 9, (1) 1966~15, (12) 1972; Trans. Inst. Chem. Engrs. (London), 45, (1967)~49, (1971) および前記の物性定数 1~10 集^{B-36)}, 蒸留技術ハンドブック^{H-26)}, Ruheman^{R-39)}, 平田^{H-27)} の文献リストから高圧関係を抜粋し付加した。またこれらの他に入手した文献を若干加えた。

表 1 は上記文献の 1970 年以後のものを抜粋したものである。

2. 理論 (推算) 関係

高圧における気液平衡の推算は, 初期においては理想溶液を仮定して気液平衡比 K を相関図を用いて求める方法で行われていた。しかし 1934 年に Sage^{S-3)} が, また 1938 年に Kay^{K-6)} が, “ K は温度と圧力が一定でも組成によって変る”ことを実験的に示して以来組成の影響を考慮するために種々の方法が考えられ, Kellog チャート^{K-39)} とか, これに改良を加えたものとして Edmister^{E-8)}, DePriester^{D-8)} らのチャートがつくられた。これらは組成パラメータとしてモル平均沸点を使用したものであるが, 1953 年組成パラメータとして, Hadden^{H-21)} によって導入された“収れん圧”を使ったものに, NGPA^{N-10)}, Winn^{W-20)}, Cajander^{C-22)}, Grayson^{G-22)}, Lenoir^{L-21)}, API の“Technical DataBook”^{A-16)}, などがある。図解法の解説には Edmister^{E-9)}, 平田^{H-26)} がある。

一方, 解析的な方法は 1940 年ごろから電算機が使用され始めるとしだいに注目されるようになり, これまた数多くの方法があるが, 幸いに熱力学的基礎からときお

表 1 Literatures of high pressure vapor-liquid equilibrium data

Notice			
1. Systems composed of atomospheric gases are listed in group 1			
2. Examples of classification; H ₂ +CO system is listed in group 3			
3. Signs of system column;			
C : circulation method			
D : dew and bubble point method			
F : flow method			
S : static method			
Group No. 1 Atmospheric gases			
System	Pressure range [atm]	Temperature range [°C]	Literature
Ar+N ₂	8.2~14.9	-161.2	M-19
N ₂ +He	~4000	-195.2~-136.2	S-37
N ₂ +He	6.8~340.1	37.8~176.7	M-5
He-Kr	120	-156~-123.2	K-20
Ar+N ₂ +O ₂	3.9~7.1	-183.2~-153.2	E-4
CO ₂	34.4~116.7	0	Y-7
Group No. 2 Hydrocarbon systems only			
2-1) systems containing CH ₄			
C ₂ H ₆ (C)	1.7~63.9	-142.8~-59.4	W-8
n-C ₃ H ₁₂	68.1~136	104.4	P-13
i-C ₃ H ₁₂	33.9~149	71.1~137.8	P-13
neo-C ₃ H ₁₂	21~118.9	71.6~104.4	P-13
C ₂ H ₆ +C ₃ H ₈ +n-C ₄ H ₁₀	6.8~272	65.6~121.1	V-1
+n-C ₅ H ₁₂ +n-C ₁₀ H ₂₂			
2-2) systems containing C ₂ H ₆			
C ₂ H ₆ (C)	~14.8	-145.5~-17.8	D-13
2-3) systems containing C ₃ H ₈			
n-C ₄ H ₁₀	20.4~42.5		K-15
n-C ₅ H ₁₂	20.4~44.2		K-15
n-C ₆ H ₁₄	10.2~49.3	90~180	K-16
n-C ₇ H ₁₆	20.4~51.0	90~250	K-16
2-4) systems containing C ₄ H ₁₀			
i-C ₄ H ₁₀	6.4~20.0	60.7, 80.8, 100.7	H-37
2-5) other hydrocarbon systems			
C ₂ H ₄ +n-C ₁₁ H ₂₄	5~95	10~75	R-23
Group No. 3 Systems containing H ₂			
N ₂	16.5~188	-185.0, -195.8	Y-21
N ₂	34~370	0	Y-7
CO ₂	60~370	60~370	Y-7
CO	~100	~100	J-2
CH ₄	19.7~106.9	-99.5~-170	S-1
C ₂ H ₄	20~80	-25~-150	S-1
C ₂ H ₆	20~80	-50~-125	S-1
C ₂ H ₆	204.1	-180~75	T-11
CO+C ₂ H ₆	204.1	-180~75	T-11
CO+C ₂ H ₆	34~204.1	-50~50	T-11
CH ₄ +NH ₃	≤200	25	K-29
CH ₄ +C ₂ H ₄	20~80	-25~-150	S-1
C ₂ H ₄ +C ₂ H ₆	20~80	-50~-125	S-1
N ₂ +CH ₄ +NH ₃	≤200	25	K-29
CO+CH ₄ +CO ₂ +C ₂ H ₆ (D)	8~42	0	Y-24
CO+CH ₄ +CO ₂ +n-C ₄ H ₁₀ (D)	9~45	0	Y-24
Group No. 4 Systems containing N ₂			
CO ₂	37~126	-40~25	V-1
Group No. 5 Systems containing CO ₂			
O ₂	~130	-50~10	F-13
O ₂	7~523	-49.4	F-12
O ₂	10~130	-50~10	F-13
He	~139	-20~20	B-23
CH ₂ F ₂	1~44	-51~10	A-4
CH ₄ +C ₁₀ H ₂₂	7~119	4~65	Y-8
Group No. 6 Systems containing CO			
C ₂ H ₆	~critical	-100~0	T-10
C ₂ H ₆	-136.1	-125~50	T-10
Group No. 7 Systems containing H ₂ S			
Group No. 8 Miscellaneous			
H ₂ O+HCl	15		K-5
H ₂ O+HCl	1.1~15.1		K-5
H ₂ O+CH ₃ CN+n-C ₄ H ₁₀	3.9		P-2
H ₂ O+CH ₃ CN+C ₂ H ₆	4.6		P-2
H ₂ O+CH ₃ CN+C ₄ H ₈	4.4		P-2
CH ₄ O+C ₂ H ₆	2.2~9.5	19.9	N-12
CH ₄ O+C ₂ H ₆	2.7~7.9	19.9	N-12
CH ₃ OH+CH ₃ COOCH ₃	5.8~11.6	112.7~140.2	N-1
C ₂ H ₅ OH+n-C ₇ H ₁₆ +C ₆ H ₆	0.3~1.2	79~104	T-12
C ₂ H ₅ OH+C ₂ H ₆	1.7~9.4	19.9	N-12
C ₂ H ₅ OH+C ₂ H ₆	2.4~7.9	19.9	N-12
n-C ₃ H ₇ O+C ₂ H ₆	1.7~9.5	19.9	N-12
n-C ₃ H ₇ O+C ₂ H ₆	1.4~7.9	19.9	N-12
n-C ₄ H ₁₀ O+C ₂ H ₆	2.9~9.3	19.9	N-12
n-C ₄ H ₁₀ O+C ₂ H ₆	1.5~7.8	19.9	N-12
CH ₃ COCH ₃ +C ₂ H ₆	1.7~8.6	19.9	N-12
CH ₃ COCH ₃ +C ₂ H ₆	1.4~7.1	19.9	N-12
CH ₃ COC ₂ H ₅ +C ₂ H ₆	1.8~8.6	19.9	N-12
CH ₃ COC ₂ H ₅ +C ₂ H ₆	1.2~7.2	19.9	N-12
He+CH ₄	68.0~258.5	-179.2~-81.2	R-22
He+CH ₄	68.0	-149.2~-82.6	D-10
N ₂ O+N ₂	4.0~80.9	-60~-20	Z-1
N ₂ O+CH ₄	4.1~52.0	-60~-20	Z-1
N ₂ O+O ₂	4.1~90.1	-60~10	Z-1
Ar+C ₂ H ₆	24.3~131.4	-157.7	E-5
Ar+neo-C ₅ H ₁₂	11~247.4	50	R-30
Ar+CHClF ₂	15~191.3	0~75	N-2
ClF ₃ +C ₂ Cl ₂ F ₄	2.1~3.4		R-18
ClF ₃ +WF ₆	3.42		R-21
ClF ₃ +MoF ₆	3.42		C-2
CH ₄ +CHClF ₂	16.2~104.0	0~75	N-2
CHF ₃ +CClF ₃	2.1~27.3	-73.4~0	S-28
C ₂ Cl ₂ F ₄ +MoF ₆	3.42		R-17
UF ₆ +WF ₆	3.42		R-20
UF ₆ +MoF ₆	3.42		R-19
Ar+CH ₄ +C ₂ H ₆	59.0~82.9	-157.7	E-5
He+C ₂ H ₆ +C ₆ H ₁₄ +i-C ₈ H ₁₈	1.3~1.8	26.7~82.2	P-3

表 2 理 論 (推 算) に 関 する 文 献

研 究 者	論 文 題 名	備 考	文 献
Dowling, Todd	気-液平衡相関法の比較	一般的な K 値推算法 (Chao-Seader 法, Grayson-Streed 法, API 相関など) の適用性の検討	D-18
Lee, Wayne, Edmister	気-液平衡の一般化推算法	液相活量係数を用いて炭化水素類の気液平衡関係を推算する新方法を紹介し, 炭化水素類 3,504 点のデータを用いた検討	L-18
Vera, Prausnitz	高圧気液平衡における混合物に関する van der Waals の単一流体理論	N_2 , Ar, O_2 から成る混合物の気液平衡を Strobbridge の 16 定数状態式を用いて推算	V-3
Bishnoi-Robinson	B. W. R. 式を用いた混合法則の改良	修正混合法則は相互作用パラメータを導入し, 炭化水素と非炭化水素の混合物に対する圧縮率と相挙動の推算に対して満足する結果を得た	B-34
Wenzel-Peter	超臨界成分を含む 2 成分相平衡の計算	Redlich と Kwong の状態方程式を用い, 超臨界成分をもった 2 成分系の相平衡の計算。 $CH_4 + n-C_5H_{12}$, $CH_4 + n-C_6H_{14}$, $CH_4 + n-C_{10}H_{22}$, $H_2S + n-C_5H_{12}$ と $H_2S + n-C_{10}H_{22}$ 系を対象	W-16
Chu-Benjamin	一つの超臨界成分を含む Normal Fluid 混合物のガス溶解度と相平衡の推算	相平衡の推算は Chang と Lu の方法を拡張した修正 $R-K$ 式を用い, 超臨界成分に対する温度依存性パラメータ値を検討	C-28
Danül-George	Ar の気-液挙動に対する van der Waals 状態方程式の適応	van der Waals 式を液領域へ拡張。Ar の PVT データを温度・密度の関数として内部圧パラメータ a を決めるために使用し, これを方程式形で表わし, Ar の PVT 挙動を推算	D-17
Wichterle-Salsburg -Chappellear-Kobayashi	臨界領域における“予想されない”気-液平衡挙動および臨界べき指数のいくつかの理論的關係	いままでも知られていなかった軽炭化水素の 2 成分系に関する現象について報告。特に高揮発性成分の臨界点近傍の解析	W-18
Soave	修正 Redlich-Kwong 状態式からの平衡定数	全非極性成分に適用でき, 修正 $R-K$ 式 (第 3 パラメータとして偏心係数を導入) を用いての一般化相調。また混合物に関してはオリジナルの混合則を適用し, CO_2 を除く, 全非極性成分の多成分系 VLE を計算	S-51
Fisher-Leland	形状係数を用いた対応状態原理	形状係数なるパラメータを導入した単純対応状態原理の拡張。それを用いた nonconformal fluids の臨界特性の修正	F-17
Singh-Mukhopadhyay	水素-軽炭化水素系の気液平衡計算	水素や炭化水素系に関する気液平衡を推算する Chueh-Prausnitz の方法で必要とされるヘンリー定数と自己相互作用係数についての一般的表現	S-50
Mikolaj-Lachhman	石油成分の気-液平衡推算	Chueh と Prausnitz によって提出された相平衡の熱力学的取扱を石油成分の系に拡張されるように修正	M-25
斉藤正三郎, 荒井康彦, 更科英二	van der Waals の one fluid theory を応用した気-液平衡の推算	van der Waals の one fluid theory に修正係数を導入すると混合物の過剰量 G^E , H^E , V^E がうまく表われ, この修正係数を用いて, CO_2 + 軽炭化水素, CO_2 + 非炭化水素系の気液平衡関係がうまく推算されることなどの提案	S-45
Prausnitz-Zeller	低温における混合物の気-液平衡とエンタルピーの推算 (prediction)	気相の非理想性に対しビリアル状態式を, 液相の活量係数には 4 下添字 Margules 式を使用。天然ガスの液化と水素の精製を対称。	Z-4
Gunn	対 応 状 態 I. 混合物に対する理論の発展 II. 成分フガシチの予言と混合物の関連特性値	I. 液体混合物に対する対応状態理論の発展において, 仮定を明確化。厳密な混合法則を用いた scaling parameter の提案 II. I の理論に基づく計算値と実測値との比較	G-14

こした書物・解説・総説の類はかなり多く, これに属するものとして Edmister^{E-9)}, Prausnitz^{P-14-16)}, Haselden^{H-52)}, 平田^{H-26)}, 頼実-吉村^{Y-12)}, 頼実-舛岡^{Y-15)}などがある。

解析的な方法をうまく分類することは難しいが, ここでは 3 大別し Case I として状態式を用いる方法 (BWR 法^{B-31,32,37,38)} で代表される), Case II として対応状態原理に基づく方法 (Leland-Chappellear-Gamson^{L-19)} の方法で代表される) と, Case III として活量係数を用いる方法 (Chao-Seader 法^{C-22)} とか Prausnitz-Chueh^{C-24-27)} 法などによって代表される) とする。Case I に関す

る推算法を報文として詳しく論じたものに 1964 年の平田-中原^{H-24)} があり, 推算の立場から BWR 式を扱ったものに頼実^{Y-14)} がある。BWR 定数の決め方は図解法としては原文^{B-31)} があり, 最小二乗法によるものに Sage^{S-3)}, 頼実^{M-24)}, Simon^{S-49)}, Eakin^{E-7)}, Lin^{L-23)} がある。定数値表は, Cooper^{C-31)}, 頼実^{Y-13)} によりまとめられ, 定数の温度依存性に関しては Lee^{L-16)}, Price^{P-17)}, Eubanks^{E-13)}, Motard^{M-21)}, Orye^{O-6)}, Kaufmann^{K-38)} などがある。定数の一般化は Edmister^{E-10)} らが提案しており, 系への適用は頼実^{Y-7,18)} が行っている。混合法則の修正を試みたものに

Stotter^{S-54)}, 頼実^{Y-17)}, 斉藤^{S-42)}, Orye^{O-6)} があり, 式の形の修正に関しては Lin^{L-23)} がある。また水素+炭化水素系への適用については平田-中原^{H-35)} によって論じられ, 初期値の与え方については中原-平田^{H-9)}, 頼実-舛岡^{Y-16)} らの研究がある。また4成分系の成立範囲については平田-中原^{H-36)} らの研究がある。BWR 式以外に Redlich-Kwong^{R-36)} 式も式が簡単で系ごとの定数を用いると精度が良いので Wilson^{W-19)}, 頼実-舛岡^{Y-25)} によって使用されている。Case II に関する研究は Leland^{L-15, 20)} により引続き行なわれているが, この方法を改良し発展させた研究成果を盛込んだ解説に, 頼実^{Y-12)}, 斉藤^{S-48)} がある。前者は Hirschfelder-Buehler-McGee-Sutton^{H-29)} の状態式を導入しており, 後者は主として異種分子間相互作用パラメータに関するもので, 約40ページにわたる労作である。その他 Sather^{S-18)}, Rowlinson^{R-40)}, Barbe^{B-29)} の研究がある。Case III の Chao-Seader 法に関するものに, H₂+炭化水素の 500°C 領域までの各温度における液体フガシチ係数計算式を誘導した Grayson^{G-13)} らの研究があり, Shelton^{S-47, 48)} はフラッシュ計算, 露点・沸点計算への適用を詳しく論じ, Robinson^{R-38)} は CH₄+CO₂+C₄H₁₀, CH₄+H₂S+C₄H₁₀ 系へこの方法の適用を試みている。Prausnitz-Chueh らの方法は液相活量係数, 気相フガシチ係数および液相フガシチのそれぞれについて Chao-Seader よりも厳密な取り扱いをしており, "Computer Calculations for High-Pressure Vapor-Liquid Equi-

librium"^{P-15)} に詳しく論じられており, また頼実-舛岡^{Y-15)} によっても解説されている。その他 Case III に属するものとして, Adler^{A-15)}, Hoffman^{H-30, 31)}, Kobayashi^{K-3, Y-7)} らの研究がある。

高圧気液平衡理論のレビューには1968年以前の約3年間については小島^{K-41)}, 1971年以前の約3年間については片山^{K-37)} があり, また1963~71年の約10年間の論文については, すでに物性定数1~10集に収められているので, ここではその後の約3年間のものについて主として推算関係のものを選び, 表2にまとめた。調査した文献とその範囲は以下に示すとおりである。

A. I. Ch. E. J., 17, (1)(1971)~19, (2)(1973); *Appl. Sci. Res.*, 24, (1)(1971)~27, (5)(1973); *Brit. Chem. Eng. (Process Technology International)*, 16, (1)(1971)~18, (3)(1973); *Cryogenics*, 11, (1)(1971)~13, (4)(1973); *Chem. Eng.*, 78, (1)(1971)~80, (13)(1973); *Chem. Eng. Progr.*, 67, (1)(1971)~69, (4)(1973); *Chem. Eng. Sci.*, 26, (1)(1971)~28, (4)(1973); *Can. J. Chem. Eng.*, 49, (1)(1971)~50, (6)(1972); *Chem. Ing. Tech.*, 43, (1)(1971)~45, (9+10)(1973); *Hydrocarbon Processing*, 50, (1)(1971)~52, (5)(1973); *Ind. Eng. Chem., Fundamentals*, 9, (1)(1970)~12, (1)(1973); *J. Chem. Eng. Data*, 16, (1)(1971)~18, (2)(1973); *J. Chem. Thermodynamics*, 3, (1)(1971)~5, (3)(1973); *Trans. Inst. Chem. Engrs. (London)*, 11, (1)(1971)~13, (2)(1973); *J. Chem. Eng. Japan*, 4, (2)(1971)~6, (2)(1973); 化学工学, 34, (1)(1970)~37, (7) 1973; 石油誌, 13, (1)(1970)~15, (12)(1972)

引 用 文 献 (文献番号がとんでいるのは抜粋したためである)

- A-4) Adams, R. A. and F. P. Stein: *J. Chem. Eng. Data*, 16 (2), 146-149 (1971)
 A-15) Adler, S. B., H. Ozkardesh and W. C. Schreiner: *Hydrocarbon Processing*, 47 (4), 145 (1968)
 A-16) American Petroleum Inst. "Technical Data Book, Petroleum Refining", New York (1966)
 A-17) Andrews, P.: *Phil. Trans.*, 159, 575 (1869)
 A-18) 荒井康彦, 上西玄一, 斎藤正三郎: *J. Chem. Eng. Japan*, 4, 113 (1971)
 A-19) 荒井康彦, 斎藤正三郎, 前田四郎: 第12回高圧討論会講演要旨集, p. 115 (1970)
 B-22) Burch, R. J.: *J. Chem. Eng. Data*, 2 (1), 19 (1964)
 B-23) Burfield, D. W., H. P. Richardson and R. A. Guereca: *A. I. Ch. E. J.*, 16 (1), 97 (1970)
 B-29) Barbe, C., F. Dennerly and B. Grison: "Symposium on Distillation", Brighton Engl and, P. 108, Sept. (1969)
 B-31) Benedict, M., G. B. Webb and L. C. Rubin: *J. Chem. Phys.*, 8, 334 (1940)
 B-32) Benedict, M., G. B. Webb, L. C. Rubin and L. Friend: *Chem. Eng. Progr.*, 47, 571, C09 (1951)
 B-34) Bishnoi, P. R. and D. B. Robinson: *Hydrocarbon Processing*, 51 (11), 152 (1972)
 B-36) 物性定数1集~10集, 丸善 (1963~1972)
 B-37) Benedict, M., G. B. Webb and L. C. Rubin: *J. Chem. Phys.*, 10, 747 (1942)
 B-38) Benedict, M., G. B. Webb and L. C. Rubin: *Chem. Eng. Progr.*, 47, 449 (1951)
 C-2) Carles, M. J. and J. Aubert: *J. Chem. Phys.*, 67, 671 (1970)
 C-3) Chang, H. L., L. J. Hurt and R. Kobayashi: *A. I. Ch. E. J.*, 12, 1212 (1966)
 C-21) Cailliet, L.: *Compt. Rend.*, 90, 210 (1880)
 C-22) Chao, K. C. and J. D. Seader: *A. I. Ch. E. J.*, 7, 598 (1961)
 C-24) Cheuh, P. L. and J. M. Prausnitz: *Ind. Eng. Chem., Fundamentals*, 6, 492 (1967)
 C-25) Cheuh, P. L. and J. M. Prausnitz: *A. I. Ch. E. J.*, 13, 1099, 1107 (1967)
 C-26) Cheuh, P. L. and J. M. Prausnitz: *Hydrocarbon Processing*, 47, 147 (1968)
 C-27) Cheuh, P. L. and J. M. Prausnitz: *Ind. Eng. Chem.*, 60 (3), 34 (1968)
 C-28) Chu, H. and B. C.-Y. Lu: *Can. J. Chem. Eng.*, 49 (Feb), 134 (1971)
 C-29) Chu, J. C., et al.: "Distillation Equilibrium Data", Reinhold, New York (1950)
 C-30) Chu, J. C., et al.: "Vapor-Liquid Equilibrium Data", J. W. Edwards, Michigan (1956)
 C-31) Cooper, H. W. and J. C. Goldfrank: *Hydrocarbon Processing*, 46 (12), 141 (1967)
 D-8) DePriester, C. L.: *Chem. Eng. Prog. Symp. Ser.*, 49 (7), 1 (1953)
 D-10) DeVaney, W. E., H. L. Rhodes and P. C. Tully: *J. Chem. Eng. Data*, 16 (2), 158 (1971)

- D-13) Djordjevic, L. and R.A. Budenholzer: *J. Chem. Eng. Data*, 15 (1), 10 (1970)
- D-17) Danil, A. and G. Thodos: *Can. J. Chem. Eng.*, 50, June, 372 (1972)
- D-18) Dowling, G.R. and W.G. Todd: *Chem. Eng.*, March 19, 115 (1973)
- E-4) Elshayal, I.M. and B.C.-Y. Lu: *J. Chem. Eng. Data*, 16 (1), 31 (1971)
- E-5) Elshayal, I.M. and B.C.-Y. Lu: *Cry.*, 11 (4), 285 (1971)
- E-7) Eakin, B.H. and R.Y. Ellington: "Thermodynamic and Transport Properties of Gases, Liquid and Solid", ASME (New York, McGraw-Hill), 195 (1959)
- E-8) Edmister, W.C. and C.L. Ruby: *Chem. Eng. Progr.*, 51, 95-F (1955)
- E-9) Edmister, W.C.: "Applied Hydrocarbon Thermodynamics", Gulf Pub. Co., Houston Texas (1961)
- E-10) Edmister, W.C., J. Vairogs and A.J. Klekers: *A. I. Ch. E. J.*, 14, 497 (1968)
- E-12) Ellington, R.T., B.E. Eakin, J.D. Parent, D.C. Gami and O.T. Bloomer: "Thermodynamics and Transport Properties of Gases, Liquids and Solids", ASME, 180, McGraw-Hill (1959)
- E-13) Eubanks, L.S.: Ph. D. Thesis Rice Inst., Houston, Texas (May 1957)
- F-12) Fredenslund, A., J. Mallerup and O. Persson: *J. Chem. Eng. Data*, 17, 4, 440 (1972)
- F-13) Fredenslund, A.G. and A. Sather: *J. Chem. Eng. Data*, 15, 17 (1970)
- F-17) Fisher, G.D. and T.W. Leland, Jr.: *I. and E. C., Fundamentals*, 9 (4), 537 (1970)
- F-18) Fredenslund, A. and G.A. Sather: *I. and E. C., Fundamentals*, 8, 718 (1969)
- G-13) Grayson, H.G. and C.W. Streed: 第6回世界石油会議重要論文集, 下巻, 273, 石油評論社 (1964)
- G-14) Gunn, R.D.: *A. I. Ch. E. J.*, 18 (1), 183 (1972)
- H-16) 平田光穂, 須田精二郎: 化学工学, 31 (8), 759 (1967)
- H-21) Hadden, S.T.: *Chem. Eng. Progr., Symp. Ser.*, 49(7), 53 (1953)
- H-22) Hadden, S.T. and H.G. Grayson: *Hydrocarbon Process Petro. Refiner*, 40, 207 (1961)
- H-23) Hala, E., J. Pick, V. Fried and O. Vilim: "Vapor-Liquid Equilibrium", 2nd ed., Pergamon Press, Oxford (1967)
- H-24) 平田光穂, 中原伯子: 化学工学, 28 (1), 2 (1964)
- H-25) 平田光穂, 須田精二郎: 化学工学, 28 (5), 397 (1964)
- H-26) 平田光穂, 額実正弘編: 蒸留工学ハンドブック, 朝倉書店 (1966)
- H-27) 平田光穂, 白田利勝: 石油学会誌, 10 (4), 41 (1967)
- H-28) Hirata, M., S. Suda: *Bull. Japan Petrol. Inst.*, 10, 20 (1968)
- H-29) Hirschfelder, J.O., R.J. Euehler, H.A. McGee and J. R. Sutton: *Ind. Eng. Chem.*, 50 (3), 375 (1958)
- H-30) Hoffman, D.S., J.R. Welker, V.N.P. Rao and J.H. Weber: *A. I. Ch. E. J.*, 10, 901 (1964)
- H-31) Hoffman, D.S., J.R. Welker, R.E. Felt and J.H. Weber: *A. I. Ch. E. J.*, 8, 508 (1962)
- H-33) Hurt, L.J.: Ph. D. Thesis Rice Univ., Houston, Texas (1962)
- H-34) 平田光穂ら: 石油誌, 10 (4) 281 (1967); 11, (3) 195, (7) 555 (1968); 12 (9), 711, (12) 796, (12) 960 (1969); 13, (1) 45, (2), 127 (1970)
- H-35) 平田光穂, 中原伯子: 石油誌, 9 (11), 879 (1966)
- H-36) 平田光穂, 中原伯子: 石油誌, 12 (1), 33 (1969)
- H-37) 平田光穂, 須田精二郎, 白田利勝, 長浜邦雄: 石油誌, 12 (10), 773 (1969)
- H-38) 平田光穂, 須田精二郎, 相良敏: 石油誌, 9 (9), 717 (1966)
- H-39) 平田光穂, 白田利勝, 小野田忠雄: 石油誌, 10 (7), 440 (1967)
- H-40) Mitsuho Hirata, Seijiro Suda: Bulletin of The Japan Petroleum Institute, Vol. 10, 20 (1968)
- J-2) Jung, J., O. Knacke and D. Neuschütz: *Chem.-Ing.-Tech.*, 43, 112 (1971)
- J-4) 蒸留技術懇話会編: 蒸留技術, No.1~7 (1971~1973)
- K-5) Kao, J.T.F.: *J. Chem. Eng. Data*, 15, 362 (1970)
- K-6) Kay, W.B.: *Ind. Eng. Chem.*, 30, 459 (1938)
- K-10) Kay, W.B. and G.M. Ramesh: *Ind. Eng. Chem.*, 45, 221 (1953)
- K-15) Kay, W.B.: *J. Chem. Eng. Data*, 15, 46 (1970)
- K-16) Kay, W.B.: *J. Chem. Eng. Data*, 16 (2), 137 (1971)
- K-20) Kidnay, A.J., R.C. Miller and M.J. Hiza: *I. and E. C., Fundamentals*, 10 (3), 459 (1971)
- K-25) Kohn, J.P. and W.F. Bradish: Paper presented at A. I. Ch. E. Meeting, Baltimore, Sept. (1957)
- K-29) Konoki, K., K. Takeuchi, G. Kaminishi and T. Toriumi: *J. Chem. Eng. Japan*, 5 (2), 103 (1971)
- K-36) 上西文一, 島海達郎: 工化, 69 (2), 175 (1966)
- K-37) 片山俊, 加藤昌弘: 化学工学, 35 (11), 1176 (1971)
- K-38) Kaufmann, T.G.: *I. and E. C., Fundamentals*, 7, 115 (1967)
- K-39) "Kellogg Equilibrium Charts": The M.W. Kellogg Co., New York, *Chem. Eng. Progr.*, 46, 20 (1950)
- K-40) Kogan, W.B. and W.M. Fridman: Handbuch der Dampf-Flüssigkeits-Gleichgewichte, VEB Deutscher Verlag der Wissen Shaften, Berlin (1961)
- K-41) 小島和夫, 加藤昌弘: 化学工学, 32 (9), 845 (1968)
- K-42) 葛岡常雄, 野北舜介: 日立評論, 49, 126 (1902)
- K-43) Kratochvil, J., J. Šobr, J. Matouš and J. Pick: *Collection Czech. Chem. Commun.*, 35, 3761 (1970)
- L-15) Leach, J.W., P.S. Chappellear and T.W. Leland: *A. I. Ch. E. J.*, 14, 568 (1968)
- L-16) Lee, T.W., S.B. Wyatt, S.H. Desai and K.C. Chao: Preprints for Cryo. Eng. Conference B-4, Aug. 19, Cleveland Ohio, Case Western Univ. (1968)
- L-18) Lee, B.I. and W.C. Edmister: *A. I. Ch. E. J.*, 17 (6), 1412 (1971)
- L-19) Leland, T.W. Jr., P.S. Chappellear and B.W. Gamson: *A. I. Ch. E. J.*, 8, 482 (1962)
- L-20) Leland, T.W. Jr. and P.S. Chappellear: *Ind. Eng. Chem.*, 60, 15 (1968)
- L-21) Lenoir, J.M. and G.A. White: *Petro. Ref.*, 37, 173 (1958)
- L-22) Lenoir, J.M., B.C. Cajander and H.G. Hipkin: *J. Chem. Eng. Data*, 5, 251 (1960)
- L-23) Lin, M.S. and L.M. Naphthali: *A. I. Ch. E. J.*, 9, 580 (1963)
- M-5) Mathews, J.F. and D.C.D. Morey: *Can. J. Chem. Eng.*, 49, 282 (1971)
- M-19) Miller, R.C., A.J. Kidney and M.J. Hiza: *A. I. Ch. E. J.*, 19 (1), 145 (1973)
- M-21) Motard, R.L. and E.I. Organick: *A. I. Ch. E. J.*, 6, 39 (1960)
- M-22) Muirbrook, N.K. and J.M. Prausnitz: *A. I. Ch. E. J.*, 11 (6), 1092 (1965)
- M-24) 増田弘昭, 額実正弘: 化学工学, 32, 820 (1968)
- M-25) Mikolaj, P.G. and D. Lachhman: *A. I. Ch. E. J.*, 17(2), 343 (1971)
- N-1) Nagahama, K. and M. Hirata: *J. Chem. Eng. Japan*, 4 (3), 205 (1971)
- N-2) Nohka, J., E. Sarashina, Y. Arai and S. Saito: *J. Chem. Eng. Japan*, 6 (1), 10 (1973)
- N-9) 中原伯子, 平田光穂: 石油誌, 12, 33 (1969)
- N-10) Nat. Gas Processors Assoc.: "Equilibrium Ratio Data Book", Tulsa, Okla. (1957)
- N-11) 日本材料学会高圧力部門委員会: "高圧実験技術とその応用", 丸善 (1969)
- N-12) 長浜邦雄, 須田精二郎, 白田利勝, 平田光穂: 石油誌, 14(4), 252 (1971)
- O-6) Orye, R.S.: *I. and E. C., Process Design and Development*, 8, 579 (1969)
- P-2) Pavlov, S.Y., V.A. Gorshkov, T.G. Zaikina, A.N. Bushn and V.V. Skorikova: *Khim. Prom.*, (11), 810 (1970)

- P-3) Perilloux, C.J. and H.A. Deans: *Ind. Eng. Chem., Fundamentals*, 11 (1), 138 (1972)
- P-13) Prodany, N.W. and B. Williams: *J. Chem. Eng. Data*, 16 (1), 1 (1971)
- P-14) Prausnitz, J.M., C.A. Eckert, R.V. Orye and J.P. O'Connell: "Computer Calculation for Multicomponent Vapor-Liquid Equilibria", Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall (1967)
- P-15) Prausnitz, J.M. and P.L. Chueh: "Computer Calculations for High Pressure Vapor-Liquid Equilibria", Prentice-Hall (1968)
- P-16) Prausnitz, J.M.: "Molecular Thermodynamics of Fluid Phase Equilibria", Prentice-Hall (1969)
- P-17) Price, A.R., T.W. Leland and R. Kobayashi: *Chem. Eng. Progr. Symp. Ser.*, 55, 13 (1959)
- R-17) Reynes, J.A., M.J. Carles and J. Aubert: *J. Chem. Phys.*, 67, 676-679 (1970)
- R-18) Reynes, J.A., M.J. Carles and J. Aubert: *J. Chem. Phys.*, 67, 680-683 (1970)
- R-19) Reynes, J.A., M.J. Carles and J. Aubert: *J. Chem. Phys.*, 67, 1526-1529 (1970)
- R-20) Reynes, J.A., M.J. Carles and J. Aubert: *J. Chem. Phys.*, 67, 1530-1533 (1970)
- R-21) Reynes, J.A., M.J. Carles and J. Aubert: *J. Chem. Phys.*, 67, 1534-1537 (1970)
- R-22) Rhodes, H.L., W.E. Devaney and P.C. Tully: *J. Chem. Eng. Data*, 16 (1), 19-23 (1971)
- R-23) Ribeira, J.V., A.A. Susu and J.P. Kohn: *J. Chem. Eng. Data*, 17 (3), 279-283 (1972)
- R-30) Rogers, B.L. and J.M. Prausnitz: *J. Chem. Thermodynamics*, 3, 211-216 (1971)
- R-36) Redlich, O. and J.N.S. Kwong: *Chem. Rev.*, 44, 233 (1949)
- R-38) Robinson, D.B. and A.C. Saxena: *Can. J. Chem. Eng.*, 47 (2), 69 (1969)
- R-39) Ruhemann, M. and A. Harmens: *Chem. Eng.*, Nov. 254 (1967)
- R-40) Rowlinson, T.S. and I.D. Watson: *Chem. Eng. Sci.*, 24, 1565, 1575 (1969)
- S-1) Sagara, H., Y. Arai and S. Saito: *J. Chem. Eng. Japan*, 5 (4), 339 (1972)
- S-3) Sage, B.H., W.N. Lacey and J.G. Schoafsmas: *Ind. Eng. Chem.*, 26, 103, 214 (1934)
- S-25) Steckel, F.A. and N. Zinn: *Zh. khim. Prom.*, 16 (8), 24 (1939)
- S-28) Stein, F.P. and P.C. Proust: *J. Chem. Eng. Data*, 16 (4), 389 (1971)
- S-32) Streett, W.B.: *Cryogenics* (Feb.), 27 (1965)
- S-34) Streett, W.B., R.E. Sonntag and G.J. Wylen: *J. Chem. Phys.*, 40, 1390 (1964)
- S-37) Streett, W.B. and J.L.E. Hill: *J. Chem. Phys.*, 52, 1402 (1970)
- S-40) Stutzman, L.F. and G.F. Brown: *Chem. Eng. Progr.*, 45, 139 (1949)
- S-42) Saito, S., G. Kaminishi, Y. Arai and S. Maeda: *J. Chem. Eng. Japan*, 1 (2), 109 (1968)
- S-43) 齊藤正三郎: 蒸留技術, 2 (1), (2), (3) (1972), 2 (4) (1973)
- S-44) Saito, S., H. Sagara and Y. Arai: *J. Chem. Eng. Japan*, 5 (4), 339 (1972)
- S-45) Sarashina, E., Y. Arai and S. Saito: *J. Chem. Eng. Japan*, 6 (2), 120 (1973)
- S-46) Scott, R.B.: "Cryogenic Engineering", D. Van Nostrand Co., Inc. Princeton, New Jersey
- S-47) Shelton, R.J. and R.M. Wood: *Chem. Engineer*, 46, CE 68 (1965)
- S-48) Shelton, R.J.: *Chem. Engineer*, 46, CE 385 (1968)
- S-49) Simmon, R. and J.E. Briggs: *A. I. Ch. E. J.*, 10, 548 (1964)
- S-50) Singh, S.P. and P.K. Mukhopadhyay: *A. I. Ch. E. J.*, 18 (6), 1171 (1972)
- S-51) Soave, C.: *Chem. Eng. Sci.*, 27, 1197 (1972)
- S-52) Sood, S.K. and G.G. Haselden: *Cryogenics*, 10, 199 (1970)
- S-53) Spear, R.R., R.L. Robinson, Jr. and C.C. Kwong: *I. and E. C., Fundamentals*, 10 (4), 588 (1971)
- S-54) Stotler, H.H. and M. Benedict: *Chem. Eng. Symp. ser.*, 49, (6) 25 (1953)
- S-55) Streett, W.B. and C.H. Jones: *J. Chem. Phys.*, 42 (11), 3989 (1965)
- S-56) 須田精二郎: 蒸留技術, 蒸留技術懇話会, No.2, p.21 (1971)
- S-58) Streett, W.B.: Private Communication, August (1971)
- T-3) Thorogood, R.M. and G.G. Haselden: *Brit. Chem. Eng.*, 8 (9), 623 (1963)
- T-10) Trust, D.B. and F. Kurata: *A. I. Ch. E. J.*, 17 (2), 415 (1971)
- T-11) Trust, D.B. and F. Kurata: *A. I. Ch. E. J.*, 17 (1), 86 (1971)
- T-12) Trinh, B.T., R.S. Ramalho and S. Kaliaguine: *Can. J. Chem. Eng.*, 50 (6), 771 (1972)
- T-17) Toyama, A., P.S. Chappellear, T.W. Leland and R. Kobayashi: *Adv. in Cryogenic Eng.*, 7, 106 (1961)
- V-1) Vairors, J., A.J. Klekers and W.C. Edmister: *A. I. Ch. E. J.*, 17 (2), 308 (1971)
- V-7) Van Horn, L.D. and R. Kobayashi: *A. I. Ch. E. J.*, 14, 92 (1968)
- V-8) Vera, J.H. and J.M. Prausnitz: *Chem. Eng. Sci.*, 26, 1772 (1971)
- W-8) Wichterle, I. and R. Kobayashi: *J. Chem. Eng. Data*, 17 (1), 9 (1972)
- W-16) Wenzel, H. and S. Peter: *Chem.-Ing.-Tech.*, 43 (15), 856 (1971)
- W-17) White, G.Y.: "Experimental Techniques in Low Temperature Physics", Oxford University Press (1968)
- W-18) Wichterle, I., Z.W. Salstburg, P.S. Chappellear and R. Kobayashi: *Chem. Eng. Sci.*, 26, 1141 (1971)
- W-19) Wilson, G.M.: *Adv. Cryogenic Eng.*, 9, 168 (1964)
- W-20) Winn, F.W.: *Chem. Eng. Progr. Symp. Ser.*, 48, 121 (1952)
- Y-7) 額実正弘, 吉村尚真, 舛岡弘勝: 化学工学, 34 (9), 953 (1970)
- Y-8) Yudovich, A., R.L. Robinson and K.C. Chao: *A. I. Ch. E. J.*, 17, 5, 1152 (1971)
- Y-12) 額実正弘, 吉村尚真: ケミカルエンジニアリング, 13 (12), (1968), 14 (1-6), (1969)
- Y-13) 額実正弘, 舛岡弘勝: 石油学会誌, 12, (1) 14 (1969)
- Y-14) 額実正弘: 化学機械技術, 17, 1 (1965)
- Y-15) 額実正弘, 舛岡弘勝: 物性定数, 第9集, 11, 丸善 (1972)
- Y-16) Yorizane, M., S. Yoshimura, H. Masuoka and M. Nakamura: *J. Chem. Eng. Japan*, 4 (1), 10 (1971)
- Y-17) Yorizane, M., S. Yoshimura and N. Shiki: *Memories of the Faculty of Eng., Hiroshima Univ.*, 3 (3), 9 (1969)
- Y-18) 額実正弘, 吉村尚真: ケミカルエンジニアリング, 16 (1), (1971)
- Y-19) 額実正弘, 吉村尚真, 舛岡弘勝, 江藤祐一, 中子敬夫, 船田一郎: 化学工学協会第4回秋季大会前刷集, 157 (1970)
- Y-20) 額実正弘, 吉村尚真, 舛岡弘勝: 化学工学, 30 (12), 1093 (1966)
- Y-21) 額実正弘, 吉村尚真, 舛岡弘勝, 中隆之: 化学工学, 35 (6), 691 (1971)
- Y-22) 額実正弘, 吉村尚真: ケミカルエンジニアリング, 13 (7), 11 (1968), 16 (1), 10 (1971)
- Y-24) Yorizane, M., S. Yoshimura and H. Masuoka: *Bull. Japan Petrol. Inst.*, 14 (1), 105 (1972)
- Y-25) 額実正弘, 舛岡弘勝: 石油学会誌, 12 (7), 535 (1969)
- Z-1) Zeininger, H.: *Chem. Ing. Techn.*, 44 (9), 607 (1972)
- Z-4) Zellner, M.G. and J.M. Prausnitz: *I. and E. C., Fundamentals*, 9 (4), 549 (1970)
- Z-3) Zenner, G.H. and L.I. Dana: *Chem. Eng. Progr. Symp. Ser. (Thermodynamics)*, 59, 36 (1963)

—特集 おわり—