

本資料は 年 月 日付で登録区分、
変更する。
2001. 6. 6

[技術情報室]

LOTUS プロセス技術開発 (VI)

— 低温領域での硝酸／水系の気液平衡データ —

1992年6月

動力炉・核燃料開発事業団
東 海 事 業 所

引用
の開

転載、
また今回

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001

1992年6月



LOTUSプロセス技術開発 (VI)

—低温領域での硝酸／水系の気液平衡データ—

根本 剛* 岡田 尚*
都所昭雄* 大内 仁**
近藤 獣*** 片山真一郎****

要旨

再処理プロセスやスクラップ燃料湿式回収プロセスの溶媒抽出に使用している硝酸廃液処理法として、室温以下の低温技術（例えば、低温真空蒸留法、凍結真空乾燥法等）の適用性に関する研究を進めている。この低温真空蒸留法による硝酸廃液処理について検討する際、対象とする各種成分の物性データが不可欠である。

今回、これらの物性データのうち、-10 ~ 50 °Cの温度領域での気液平衡データについて、既報の硝酸／水系気液平衡データを基に、NRTL式及びWilson式で解析した後、定温及び定圧時のデータを温度をパラメータに計算し図表化した。なお、計算に使用したNRTL式のパラメータについては温度依存性を考慮し、気相の非理想性は無視した。これらの低温領域でのデータは、低温真空蒸留法による硝酸廃液処理について設計検討する際に役立つものと期待される。

* 核燃料技術開発部 転換技術開発室

** 環境技術開発部 環境技術第一開発室

*** 核燃料技術開発部 転換技術開発室（現日本原燃サービス派遣中）

**** (株) 東レリサーチセンター

目 次

1. 緒 言	1
2. 解析方法	2
2. 1 気液平衡関係	2
2. 2 活量係数	2
2. 3 飽和蒸気圧	3
2. 4 気液平衡計算	3
3. 解析結果	4
3. 1 硝酸／水系の定温気液平衡文献値の解析	4
3. 1. 1 硝酸／水系の定温気液平衡文献値の計算値	4
3. 1. 2 硝酸／水系の定温気液平衡文献値の $x - y$ 関係図	8
3. 1. 3 硝酸／水系の定温気液平衡文献値の $x - P$ 関係図	12
3. 2 硝酸／水系の定圧気液平衡文献値の解析	16
3. 2. 1 硝酸／水系の定圧気液平衡文献値の計算値	16
3. 2. 2 硝酸／水系の定圧気液平衡文献値の $x - y$ 関係図	18
3. 2. 3 硝酸／水系の定圧気液平衡文献値の $x - t$ 関係図	20
3. 3 硝酸／水系の気液平衡の $x - \gamma$ 関係図	22
3. 4 硝酸／水系の気液平衡時の N R T L 式の温度依存性	23
4. 定温気液平衡値の計算結果	25
4. 1 硝酸／水系の定温気液平衡計算値	25
4. 2 硝酸／水系の定温気液平衡計算値の $x - y$ 関係図	29
4. 3 硝酸／水系の定温気液平衡計算値の $x - P$ 関係図	33
4. 4 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値	37
4. 5 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値の $x - y$ 関係図	41
5. 参考文献	45

表一覧

表- 3. 1 硝酸／水系定温気液平衡文献値の解析（温度 = 0 °C）	4
表- 3. 2 硝酸／水系定温気液平衡文献値の解析（温度 = 5 °C）	4
表- 3. 3 硝酸／水系定温気液平衡文献値の解析（温度 = 10°C）	5
表- 3. 4 硝酸／水系定温気液平衡文献値の解析（温度 = 15°C）	5
表- 3. 5 硝酸／水系定温気液平衡文献値の解析（温度 = 20°C）	6
表- 3. 6 硝酸／水系定温気液平衡文献値の解析（温度 = 20°C）	6
表- 3. 7 硝酸／水系定温気液平衡文献値の解析（温度 = 25°C）	7
 表- 3. 8 硝酸／水系定圧気液平衡文献値の解析（圧力 = 760mmHg）	16
表- 3. 9 硝酸／水系定圧気液平衡文献値の解析（圧力 = 400mmHg）	16
表- 3.10 硝酸／水系定圧気液平衡文献値の解析（圧力 = 100mmHg）	17
表- 3.11 硝酸／水系定圧気液平衡文献値の解析（圧力 = 50mmHg）	17
 表- 3.12 硝酸／水系気液平衡時のN R T L式温度依存性	23
 表- 4. 1 硝酸／水系定温気液平衡計算値（温度 = -10°C）	25
表- 4. 2 硝酸／水系定温気液平衡計算値（温度 = 0°C）	25
表- 4. 3 硝酸／水系定温気液平衡計算値（温度 = 10°C）	26
表- 4. 4 硝酸／水系定温気液平衡計算値（温度 = 20°C）	26
表- 4. 5 硝酸／水系定温気液平衡計算値（温度 = 30°C）	27
表- 4. 6 硝酸／水系定温気液平衡計算値（温度 = 40°C）	27
表- 4. 7 硝酸／水系定温気液平衡計算値（温度 = 50°C）	28
 表- 4. 8 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値（温度 = -10°C）	37
表- 4. 9 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値（温度 = 0°C）	37
表- 4.10 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値（温度 = 10°C）	38
表- 4.11 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値（温度 = 20°C）	38
表- 4.12 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値（温度 = 30°C）	39
表- 4.13 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値（温度 = 40°C）	39
表- 4.14 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値（温度 = 50°C）	40

 — 質量 —

図-3.1 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-y関係図(温度=0°C)	8
図-3.2 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-y関係図(温度=5°C)	8
図-3.3 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-y関係図(温度=10°C)	9
図-3.4 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-y関係図(温度=15°C)	9
図-3.5 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-y関係図(温度=20°C)	10
図-3.6 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-y関係図(温度=20°C)	10
図-3.7 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-y関係図(温度=25°C)	11
図-3.8 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-P関係図(温度=0°C)	12
図-3.9 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-P関係図(温度=5°C)	12
図-3.10 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-P関係図(温度=10°C)	13
図-3.11 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-P関係図(温度=15°C)	13
図-3.12 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-P関係図(温度=20°C)	14
図-3.13 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-P関係図(温度=20°C)	14
図-3.14 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-P関係図(温度=25°C)	15
図-3.15 硝酸／水系定压気液平衡文献値のx-y関係図(圧力=760mmHg)	18
図-3.16 硝酸／水系定压気液平衡文献値のx-y関係図(圧力=400mmHg)	18
図-3.17 硝酸／水系定压気液平衡文献値のx-y関係図(圧力=100mmHg)	19
図-3.18 硝酸／水系定压気液平衡文献値のx-y関係図(圧力=50mmHg)	19
図-3.19 硝酸／水系定压気液平衡文献値のx-t関係図(圧力=760mmHg)	20
図-3.20 硝酸／水系定压気液平衡文献値のx-t関係図(圧力=400mmHg)	20
図-3.21 硝酸／水系定压気液平衡文献値のx-t関係図(圧力=100mmHg)	21
図-3.22 硝酸／水系定压気液平衡文献値のx-t関係図(圧力=50mmHg)	21
図-3.23 硝酸／水系気液平衡のx-γ関係図(温度=10°C)	22
図-3.24 硝酸／水系気液平衡時のN R T L式温度依存性	24
図-4.1 硝酸／水系定温気液平衡計算値のx-y関係図(温度=-10°C)	29
図-4.2 硝酸／水系定温気液平衡計算値のx-y関係図(温度=0°C)	29
図-4.3 硝酸／水系定温気液平衡計算値のx-y関係図(温度=10°C)	30
図-4.4 硝酸／水系定温気液平衡計算値のx-y関係図(温度=20°C)	30
図-4.5 硝酸／水系定温気液平衡計算値のx-y関係図(温度=30°C)	31
図-4.6 硝酸／水系定温気液平衡計算値のx-y関係図(温度=40°C)	31
図-4.7 硝酸／水系定温気液平衡計算値のx-y関係図(温度=50°C)	32

図- 4. 8 硝酸／水系定温気液平衡計算値の x - y 関係図 (温度=10, 20, 50°C)	32
図- 4. 9 硝酸／水系定温気液平衡計算値の x - P 関係図 (温度=-10°C)	33
図- 4.10 硝酸／水系定温気液平衡計算値の x - P 関係図 (温度= 0°C)	33
図- 4.11 硝酸／水系定温気液平衡計算値の x - P 関係図 (温度= 10°C)	34
図- 4.12 硝酸／水系定温気液平衡計算値の x - P 関係図 (温度= 20°C)	34
図- 4.13 硝酸／水系定温気液平衡計算値の x - P 関係図 (温度= 30°C)	35
図- 4.14 硝酸／水系定温気液平衡計算値の x - P 関係図 (温度= 40°C)	35
図- 4.15 硝酸／水系定温気液平衡計算値の x - P 関係図 (温度= 50°C)	36
図- 4.16 硝酸／水系定温気液平衡計算値の x - P 関係図 (温度=10, 20, 50°C)	36
図- 4.17 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値の x - y 関係図 (温度=-10°C)	41
図- 4.18 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値の x - y 関係図 (温度= 0°C)	41
図- 4.19 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値の x - y 関係図 (温度= 10°C)	42
図- 4.20 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値の x - y 関係図 (温度= 20°C)	42
図- 4.21 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値の x - y 関係図 (温度= 30°C)	43
図- 4.22 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値の x - y 関係図 (温度= 40°C)	43
図- 4.23 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値の x - y 関係図 (温度= 50°C)	44
図- 4.24 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値の x - y 関係図 (温度=10, 20, 50°C)	44

1. 緒 言

再処理プロセスやスクラップ燃料回収プロセスへの低温技術の適用性に関する研究 (LOTUS*) を進めており、その一環として、低温真空蒸留法や凍結真空乾燥法による硝酸廃液処理について検討している¹⁾。この処理方法は、試薬を添加しないこと、核分裂生成物等の硝酸塩に対して飛沫同伴等が避けられるため高除染係数が得られること、凝縮・回収した硝酸は工程内リサイクルできること、従来は硝酸の沸点状態で処理するのに対して室温近くで処理するため機器の腐食が避けられる等の大きな利点がある。

これまで基礎試験として、凍結真空乾燥法や真空蒸留法により各種硝酸塩を含む模擬硝酸廃液を処理し、高除染係数で残渣と硝酸を分離回収できることを確認している^{2) 3)}。しかし、連続蒸留、単蒸留時の硝酸の挙動をシミュレーションするために必要な低温領域での各種のデータが少ないのが現状である。

一般に、化学工業のプロセス設計には、対象とする各種成分の純物質や混合物の詳細な物性データが不可欠である。例えば、蒸留操作のための所要段数を求めるには、純物質の蒸気圧データや混合溶液の気液平衡データが必要である。また、塔内径の計算には、混合物の液密度と蒸気密度が必須である。すなわち、表-1.1 及び表-1.2 に示すようなデータの収集がプロセス設計上重要である。

表-1.1 純物質データ

蒸気圧、蒸発熱、液モル密度、液密度、第二ビリアル係数、理想気体状態の比熱、
標準生成熱、標準生成ギブスエネルギー 等

表-1.2 混合物データ

気液平衡、液液平衡、混合熱、無限希釈活量係数、ガス溶解度、過剰比熱容量、
高圧気液平衡、共沸データ、固液平衡 等

また、2成分系の蒸留あるいは多成分系蒸留について設計する際、横軸に低沸点成分の液相モル分率 x 、縦軸に同じく低沸点成分の気相モル分率 y をとり、 x に平衡な y の値をプロットした $x - y$ 線図は非常に重要である。さらに、定圧下における温度対液相モル分率 $t - x$ の関係を表した沸点曲線、温度対気相モル分率 $t - y$ を表した露点曲線も必要である。

本報告は表-1.2 で示したデータのうち、-10°C～50°Cの温度領域での気液平衡データについて整理したものである。整理方法としては、低温領域での既存の文献を整理・解析し、一部実験で確認した後、定温気液平衡データとして $x - y$ 線図、 $x - P$ 線図等を作成した。

LOTUS * : Low Temperature Utilizing System

2. 角度分析方法

2.1 気液平衡関係

蒸留の原理より明らかなように、この分離操作の過程を数値的にシミュレーションするためには、ある組成の混合溶液からどのような組成の蒸気が発生するか、言い換えればある混合溶液における液相と気相の平衡関係（気液平衡関係）を知る必要がある。また、蒸留計算時には理想溶液か非理想溶液かにより平衡比が変動する。

硝酸／水系の低圧下における気相は理想気体とみなすことができるので、(1)式が成立する。これに對して非理想系である液相については、活量係数 γ_1 を乗じて(2)式になる。気液平衡が成立する条件は、両相における温度・圧力が等しいこと及び両相における各成分のフガシティが等しいことから(3)式が成立する。

ここで、 P : 全圧 (mmHg)

P_i^s : i 成分の飽和蒸気圧

P_i : 純粋な i 成分の蒸気圧

$f_{i,V}$: 気相中における i 成分のフガシティ

f_i^L : 液相中における i 成分のフガシティ

x_i : 液相中における i 成分のモル分率

v_i: 気相中における i 成分のモル分率

γ_i : i 成分の活量係数

解析は、硝酸／水系の気液平衡解析に使用可能な既存の文献^{4) 5) 6) 7) 8)}を選定・解析した後、数式化した。

2.2 活量係数

活量係数の求め方については、次に示す4式がある。

- (1) Van Laar の式
 - (2) Margules の式
 - (3) NRTL 式 (non-random, two-liquid の略)
 - (4) Wilson の式

今回の計算では(1), (2)の式よりも精度が良いこと及び多成分系にも適用できることから、上記各式の内から(3), (4)を用いることにした。

2成分系の NRTL 式は、次に示す(4)、(5)式で表される。

$$\ln \gamma_1 = x_2^2 [\tau_{21}(G_{21}/(x_1 + x_2 G_{21}))^2 + \tau_{12} G_{12}/(x_2 + x_1 G_{12})^2] \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

$$\ln \gamma_2 = x_2^2 [\tau_{12}(G_{12}/(x_2 + x_1 G_{12}))^2 + \tau_{21} G_{21}/(x_1 + x_2 G_{21})^2] \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

ここで, $\tau_{12} : (g_{12}-g_{22})/RT$

T : 絶対温度

 $\tau_{21} : (g_{12}-g_{11})/RT$

R : 気体定数

 $G_{12} : \exp(-\alpha_{12} \tau_{12})$

G : ギブスの自由エネルギー

 $G_{21} : \exp(-\alpha_{12} \tau_{21})$ α : 相対揮発度

g :

 τ :

また, Wilson の式としては次の(6), (7)で表される。なお, 本報では定圧 2 成分の Λ_{12} , Λ_{21} はそれぞれ一定にした。

$$\ln \gamma_1 = -\ln(x_1 + \Lambda_{12} x_2) + x_2 [\Lambda_{12}/(x_1 + \Lambda_{12} x_2) - \Lambda_{21}/(x_2 + \Lambda_{21} x_1)] \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

$$\ln \gamma_2 = -\ln(x_2 + \Lambda_{21} x_1) - x_1 [\Lambda_{12}/(x_1 + \Lambda_{12} x_2) - \Lambda_{21}/(x_2 + \Lambda_{21} x_1)] \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

ここで, $\Lambda_{12} : (v_2^L/v_1^L)\exp[-(\lambda_{12}-\lambda_{11})/RT]$ Λ : $\Lambda_{21} : (v_1^L/v_2^L)\exp[-(\lambda_{12}-\lambda_{22})/RT]$ λ :

このように, 活量係数は平衡圧, 平衡温度と平衡組成についての文献値から求められる。

2.3 飽和蒸気圧

飽和蒸気圧は, 次式に示す Antoine 式により計算した。なお, 該計算では 2 成分系の前者の成分を成分 1 とし, 後者の成分を成分 2 とした。硝酸/水系で用いた定数は次のとおりである。

$$\log P_i = A_i - B_i/(t + C_i) \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

ここで, P_i : 饱和蒸気圧 (mmHg)

t : 温度 (°C)

A, B, C : 定数

硝酸 : $A_{\text{HNO}_3} = 7.51190$, $B_{\text{HNO}_3} = 1406.00$, $C_{\text{HNO}_3} = 221.00$ 水 : $A_{\text{H}_2\text{O}} = 7.96681$, $B_{\text{H}_2\text{O}} = 1668.21$, $C_{\text{H}_2\text{O}} = 228.00$

2.4 気液平衡計算

気液平衡式のパラメータは, 目的関数 F として次式を用いて非線形最小二乗法により求めた。

$$F = (y_1^{\text{cacl}} - y_1^{\text{obs}})^2 + (y_2^{\text{cacl}} - y_2^{\text{obs}})^2 \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

気液平衡計算時の定圧データは P, x を与えて, t, y を求める手法を用いた。一方, 定温データは t, x を与えて, t, y を求める手法を用いた。

3. 角率未定結果

3.1 硝酸／水系の定温気液平衡文献値の解析

3.1.1 硝酸／水系の定温気液平衡文献値の計算値

表-3.1 硝酸／水系定温気液平衡文献値の解析（温度=0°C, 文献⁴⁾）

x1 (mol fr.)	y1 (mol fr.)	P (mmHg)	y1cal (mol fr.)	Pcal (mmHg)
0.222	0.0460	2.06	0.0356	2.08
0.300	0.1400	1.39	0.1643	1.56
0.400	0.5510	1.38	0.5419	1.52
0.533	0.9145	3.16	0.9021	2.74
0.720	0.9899	7.89	0.9928	6.82

* x1は硝酸液相濃度, y1は硝酸気相濃度, Pは全圧
y1calは硝酸気相濃度計算値, Pcalは全圧計算値

** g12-g22=-1591.4(cal/mol)
g12-g11=-938.0(cal/mol)

表-3.2 硝酸／水系定温気液平衡文献値の解析（温度=5°C, 文献⁴⁾）

x1 (mol fr.)	y1 (mol fr.)	P (mmHg)	y1cal (mol fr.)	Pcal (mmHg)
0.222	0.0490	2.95	0.0370	3.04
0.300	0.1440	2.02	0.1661	2.29
0.400	0.5450	2.02	0.5380	2.23
0.533	0.9085	4.48	0.8977	3.94
0.720	0.9880	10.87	0.9920	9.60

* x1は硝酸液相濃度, y1は硝酸気相濃度, Pは全圧
y1calは硝酸気相濃度計算値, Pcalは全圧計算値

** g12-g22=-1598.4(cal/mol)
g12-g11=-919.5(cal/mol)

表-3.3 硝酸／水系定温気液平衡文献値の解析（温度=10°C, 文献⁴⁾）

x1 (mol fr.)	y1 (mol fr.)	P (mmHg)	y1cal (mol fr.)	Pcal (mmHg)
0.222	0.0530	4.17	0.0387	4.39
0.300	0.1470	2.92	0.1671	3.34
0.400	0.5360	2.93	0.5312	3.25
0.533	0.9008	6.25	0.8917	5.59
0.720	0.9864	14.76	0.9911	13.29

* x1は硝酸液相濃度, y1は硝酸気相濃度, Pは全圧
y1calは硝酸気相濃度計算値, Pcalは全圧計算値

** g12-g22=-1594.4(cal/mol)
g12-g11=-906.3(cal/mol)

表-3.4 硝酸／水系定温気液平衡文献値の解析（温度=15°C, 文献⁴⁾）

x1 (mol fr.)	y1 (mol fr.)	P (mmHg)	y1cal (mol fr.)	Pcal (mmHg)
0.222	0.0570	5.81	0.0402	6.24
0.300	0.1500	4.14	0.1682	4.78
0.400	0.5280	4.17	0.5254	4.64
0.533	0.8935	8.64	0.8861	7.80
0.720	0.9844	19.85	0.9901	18.14

* x1は硝酸液相濃度, y1は硝酸気相濃度, Pは全圧
y1calは硝酸気相濃度計算値, Pcalは全圧計算値

** g12-g22=-1593.9(cal/mol)
g12-g11=-892.0(cal/mol)

表-3.5 硝酸／水系定温気液平衡文献値の解析（温度=20°C, 文献⁴⁾）

x1 (mol fr.)	y1 (mol fr.)	P (mmHg)	y1cal (mol fr.)	Pcal (mmHg)
0.222	0.0610	8.02	0.0421	8.76
0.300	0.1530	5.82	0.1700	6.78
0.400	0.5210	5.91	0.5201	6.56
0.533	0.8860	11.84	0.8802	10.78
0.720	0.9826	26.49	0.9890	24.48

* x1は硝酸液相濃度, y1は硝酸気相濃度, Pは全圧
y1calは硝酸気相濃度計算値, Pcalは全圧計算値

** g12-g22=-1590.1(cal/mol)
g12-g11=-874.4(cal/mol)

表-3.6 硝酸／水系定温気液平衡文献値の解析（温度=20°C, 文献⁵⁾）

x1 (mol fr.)	y1 (mol fr.)	P (mmHg)	y1cal (mol fr.)	Pcal (mmHg)
0.1604	0.0070	10.21	0.0062	10.26
0.1636	0.0080	9.90	0.0069	10.11
0.1956	0.0180	8.06	0.0169	8.67
0.2227	0.0360	7.19	0.0334	7.62
0.2253	0.0360	7.29	0.0355	7.53
0.2574	0.0740	6.44	0.0727	6.53
0.2856	0.1250	5.80	0.1264	5.87
0.3060	0.1710	5.22	0.1802	5.52
0.4073	0.5350	5.34	0.5800	5.61
0.4480	0.7350	6.76	0.7266	6.52
0.4540	0.7150	6.80	0.7447	6.70
0.5386	0.9296	10.10	0.9111	10.31
0.7208	0.9920	27.54	0.9923	24.21

* x1は硝酸液相濃度, y1は硝酸気相濃度, Pは全圧
y1calは硝酸気相濃度計算値, Pcalは全圧計算値

** g12-g22=-1808(cal/mol)
g12-g11=-886(cal/mol)

表-3.7 硝酸／水系定温気液平衡文献値の解析（温度=25°C, 文献⁶⁾）

x1 (mol fr.)	y1 (mol fr.)	P (mmHg)	y1cal (mol fr.)	Pcal (mmHg)
0.0666	0.0002	20.69	0.0002	20.39
0.1100	0.0010	17.51	0.0012	17.38
0.1600	0.0073	13.34	0.0063	13.93
0.2243	0.0352	10.24	0.0355	10.26
0.2604	0.0824	8.92	0.0790	8.75
0.2991	0.1512	7.86	0.1634	7.65
0.3799	0.4696	7.45	0.4685	7.23

* x1は硝酸液相濃度, y1は硝酸気相濃度, Pは全圧
y1calは硝酸気相濃度計算値, Pcalcは全圧計算値

** g12-g22=-1846.1(cal/mol)
g12-g11=-853.5(cal/mol)

3.1.2 硝酸／水系の定温気液平衡文献値の $x - y$ 関係図

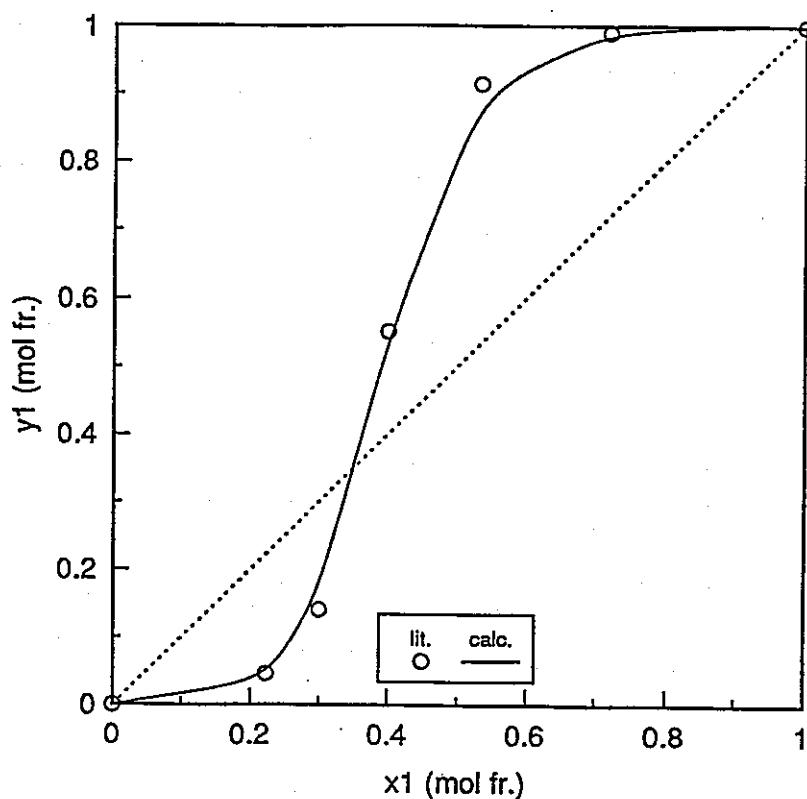


図-3.1 硝酸／水系定温気液平衡文献値の $x - y$ 関係図 (温度 = 0 °C, 文献⁴⁾)

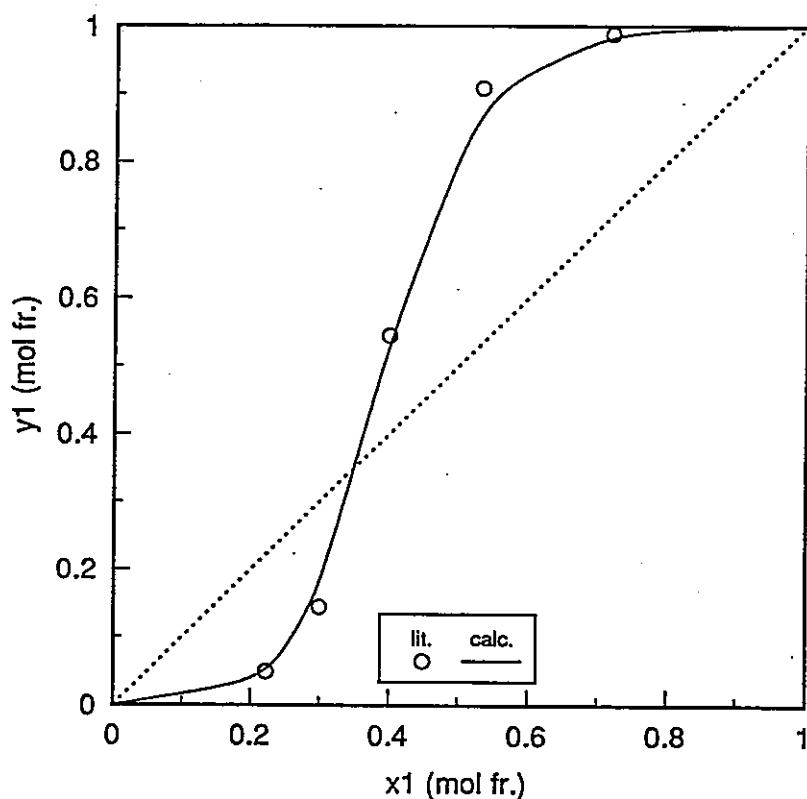


図-3.2 硝酸／水系定温気液平衡文献値の $x - y$ 関係図 (温度 = 5 °C, 文献⁴⁾)

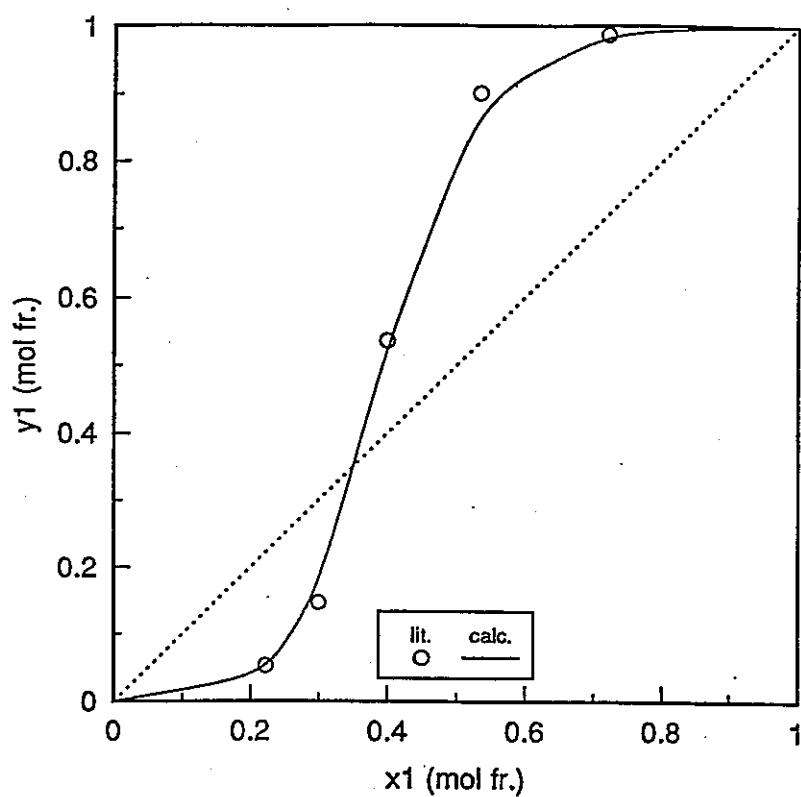


図-3.3 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-y関係図（温度=10°C, 文献⁴⁾）

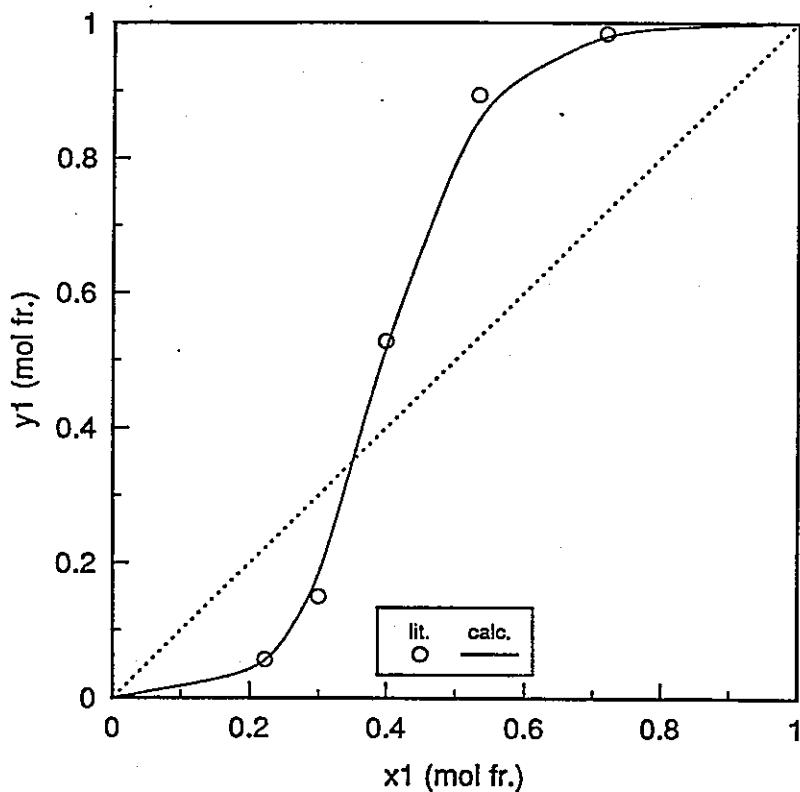


図-3.4 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-y関係図（温度=15°C, 文献⁴⁾）

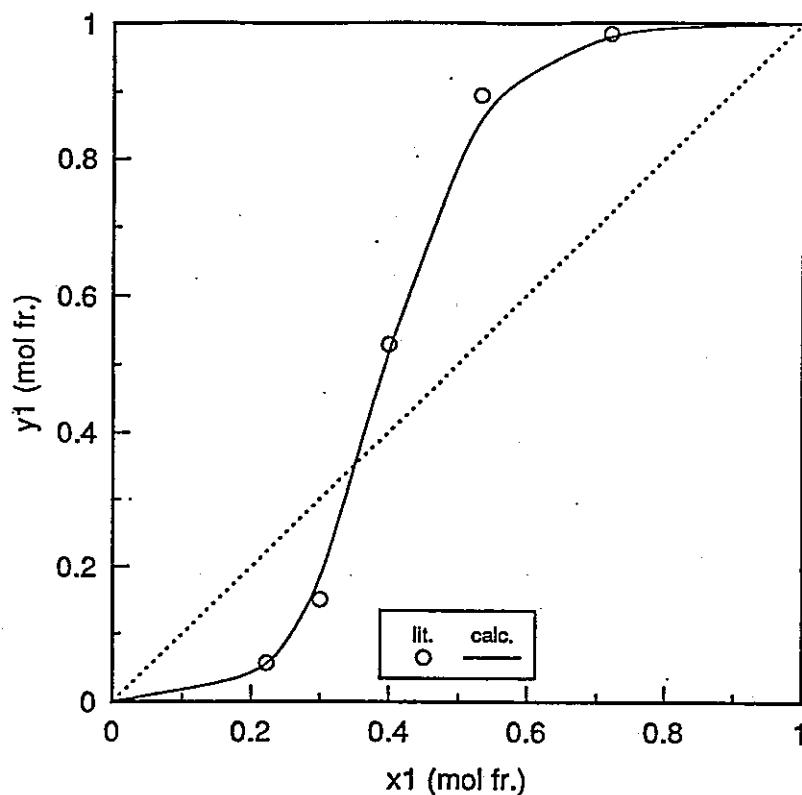


図-3.5 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-y関係図(温度=20°C, 文献⁴⁾)

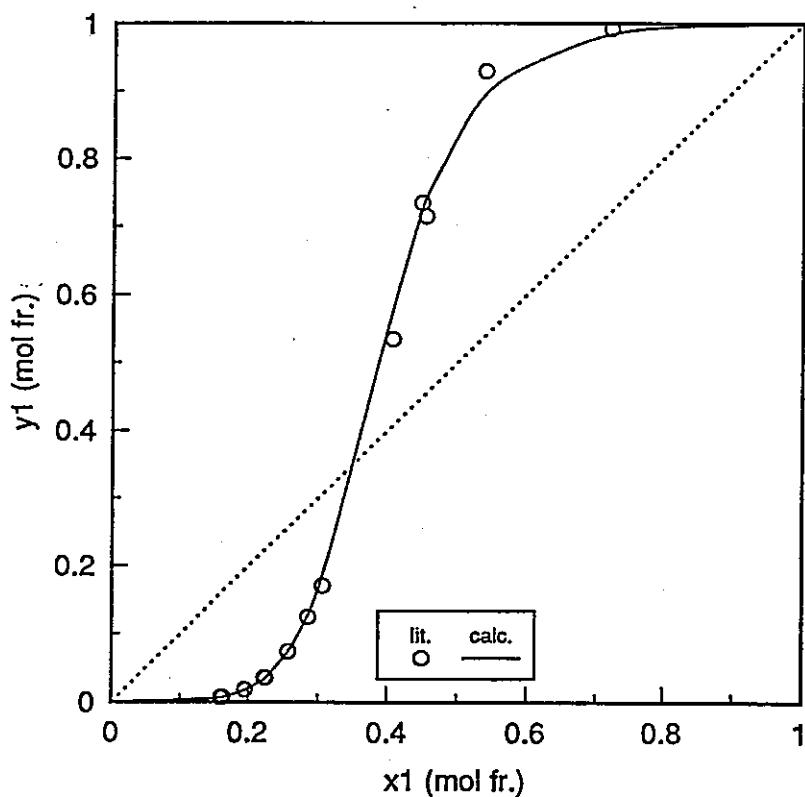


図-3.6 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-y関係図(温度=20°C, 文献⁵⁾)

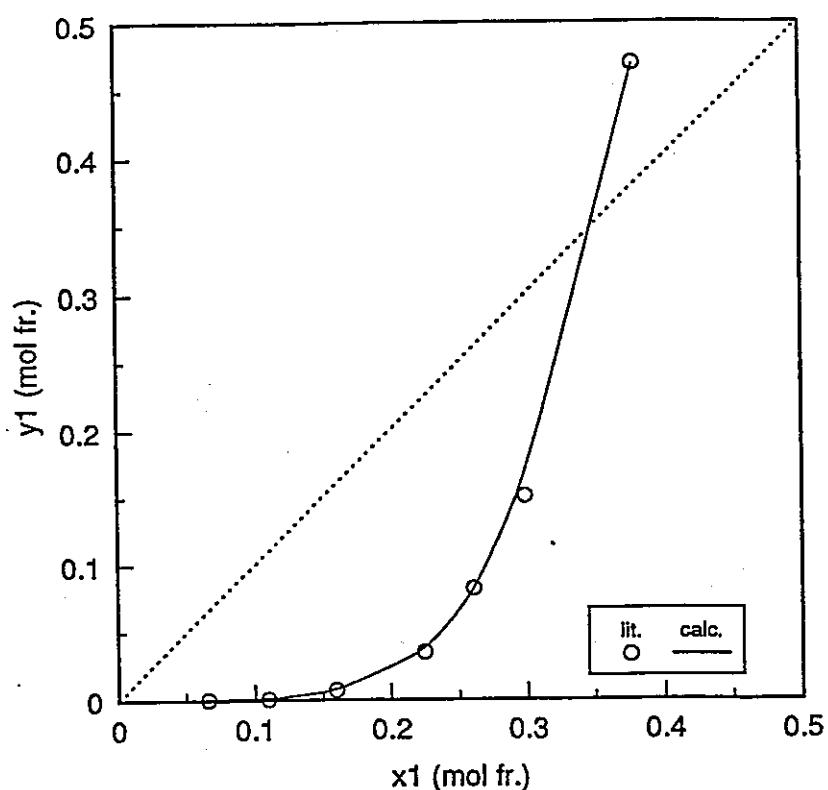


図-3.7 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-y関係図(温度=25°C, 文献⁶⁾)

3.1.3 硝酸／水系定温気液平衡文献値の $x - P$ 関係図

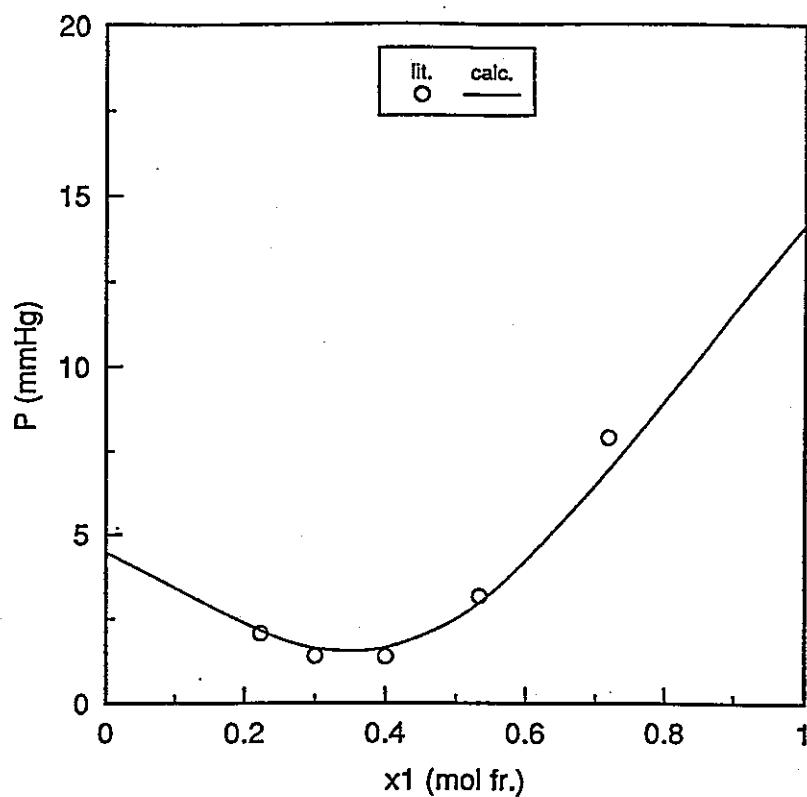


図-3.8 硝酸／水系定温気液平衡文献値の $x - P$ 関係図 (温度 = 0 °C, 文献⁴⁾)

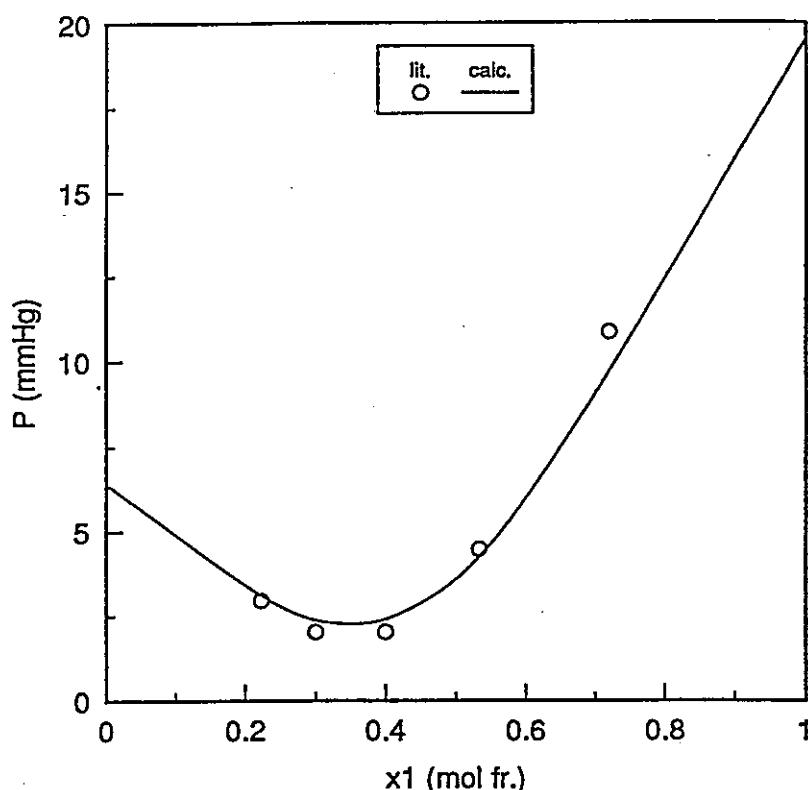


図-3.9 硝酸／水系定温気液平衡文献値の $x - P$ 関係図 (温度 = 5 °C, 文献⁴⁾)

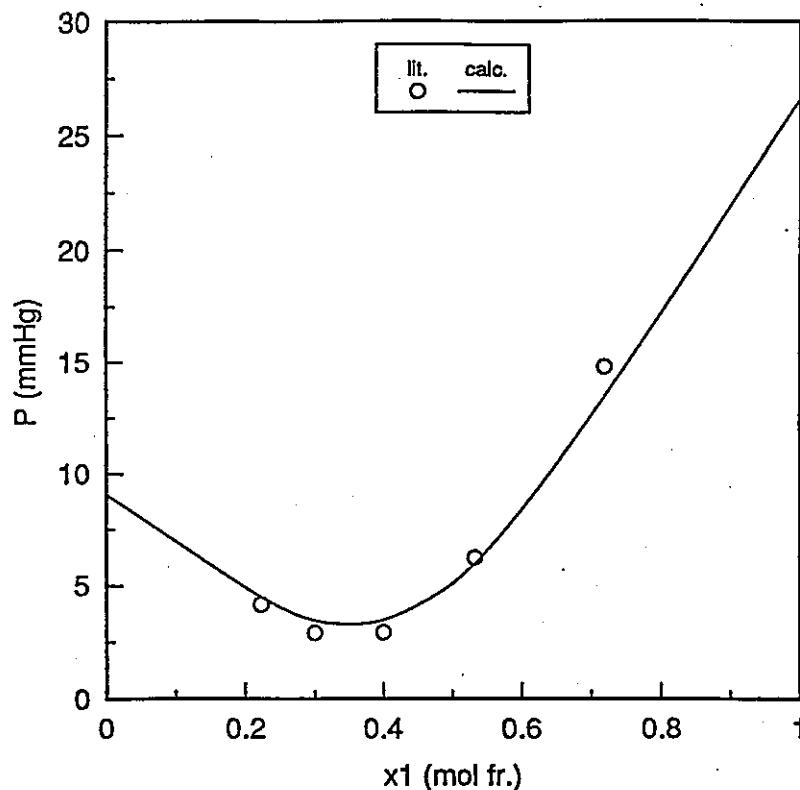


図-3.10 硝酸／水系定温気液平衡文献値の $x - P$ 関係図 (温度=10°C, 文献⁴⁾)

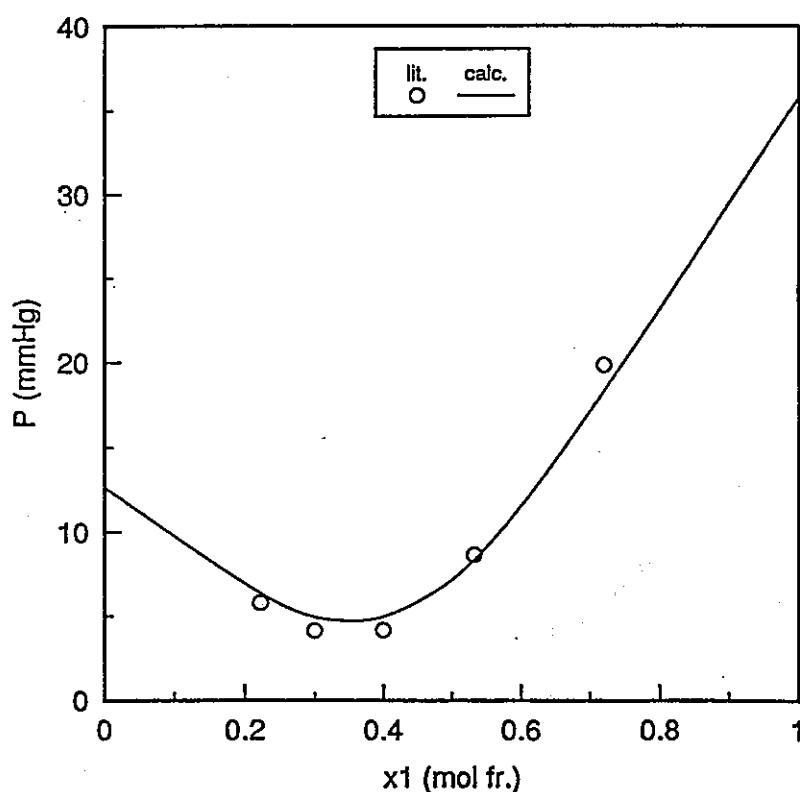


図-3.11 硝酸／水系定温気液平衡文献値の $x - P$ 関係図 (温度=15°C, 文献⁴⁾)

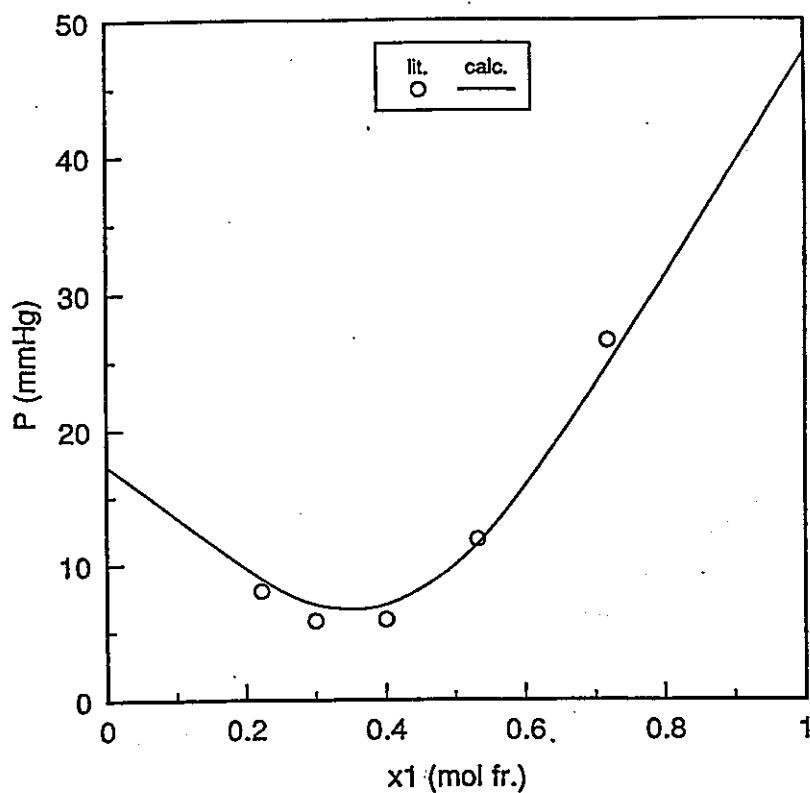


図-3.12 硝酸／水系定温気液平衡文献値の $x - P$ 関係図 (温度=20°C, 文献⁴⁾)

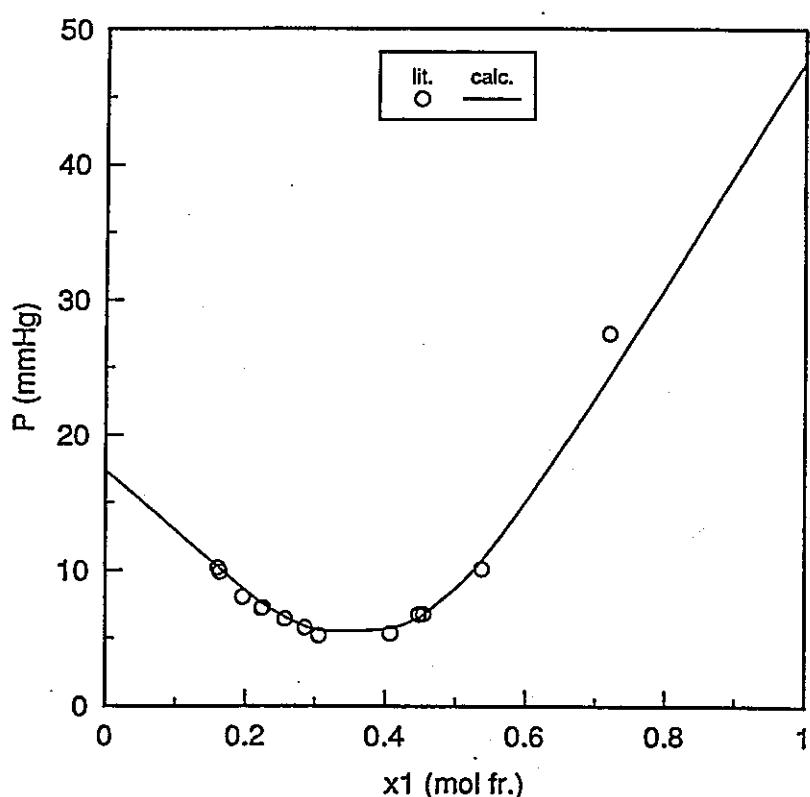


図-3.13 硝酸／水系定温気液平衡文献値の $x - P$ 関係図 (温度=20°C, 文献⁵⁾)

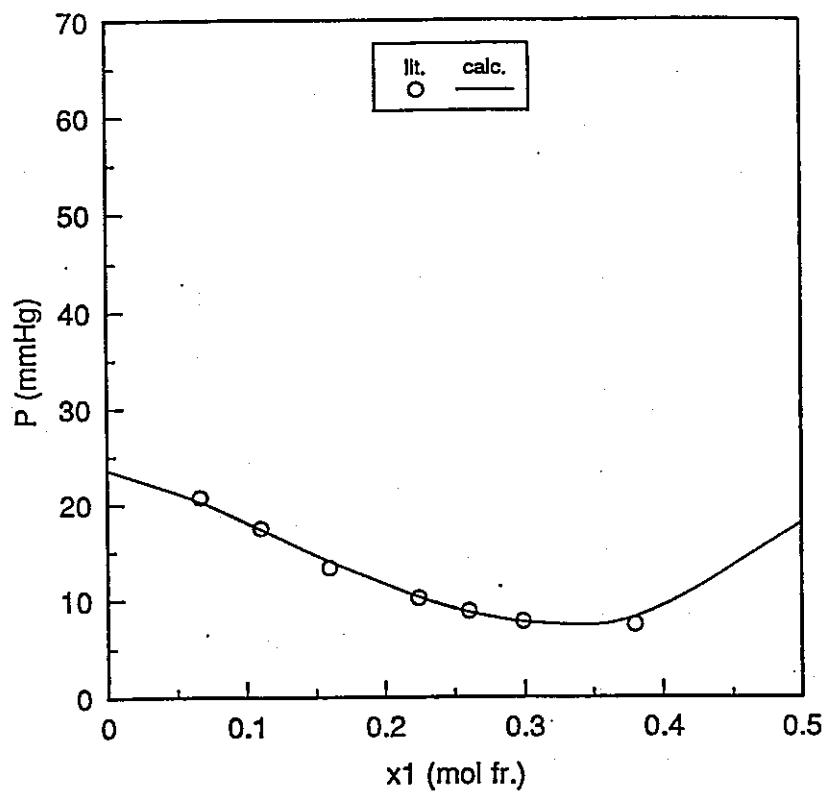


図-3.14 硝酸／水系定温気液平衡文献値の $x - P$ 関係図 (温度=25°C, 文献⁶⁾)

3.2 硝酸／水系の定圧気液平衡文献値の解析

3.2.1 硝酸／水系の定圧気液平衡文献値の計算値

表-3.8 硝酸／水系定圧気液平衡文献値の解析(圧力= 760mmHg, 文献⁷⁾)

x_1 (mol fr.)	y_1 (mol fr.)	t (°C)	$y_{1\text{cal}}$ (mol fr.)	t_{cal} (°C)
0.061	0.0036	104.0	0.0025	102.41
0.096	0.0095	106.4	0.0063	104.35
0.117	0.0150	107.8	0.0101	105.66
0.139	0.0211	109.4	0.0158	107.12
0.175	0.0423	111.8	0.0303	109.65
0.183	0.0510	112.3	0.0346	110.23
0.225	0.0895	114.8	0.0658	113.24
0.266	0.1360	116.8	0.1132	115.99
0.277	0.1599	117.5	0.1294	116.66
0.341	0.2590	119.4	0.2533	119.68
0.374	0.3650	119.9	0.3355	120.45
0.383	0.3745	120.0	0.3596	120.55
0.485	0.7300	116.1	0.642	118.17
0.521	0.8108	113.4	0.7283	115.94
0.547	0.8500	110.8	0.7819	114.01
0.651	0.9420	102.9	0.9213	104.87
0.719	0.9720	96.1	0.9633	98.85
0.765	0.9875	92.0	0.979	95.12
0.816	0.9930	88.4	0.9892	91.43

* x_1 は硝酸液相濃度, y_1 は硝酸気相濃度, P は全圧
 $y_{1\text{cal}}$ は硝酸気相濃度計算値, P_{calc} は全圧計算値

** $g_{12}-g_{22}=-1476.9(\text{cal/mol})$
 $g_{12}-g_{11}=-810.1(\text{cal/mol})$

表-3.9 硝酸／水系定圧気液平衡文献値の解析(圧力= 400mmHg, 文献⁸⁾)

x_1 (mol fr.)	y_1 (mol fr.)	t (°C)	$y_{1\text{cal}}$ (mol fr.)	t_{cal} (°C)
0.135	0.016	91.9	0.0157	88.97
0.181	0.045	96.0	0.0354	91.79
0.296	0.205	102.4	0.1655	98.43
0.357	0.321	103.2	0.2987	100.45
0.398	0.455	102.8	0.4089	100.78
0.435	0.544	101.6	0.5144	100.26
0.533	0.739	94.1	0.7626	95.43
0.537	0.749	94.0	0.7707	95.14
0.546	0.770	92.7	0.7882	94.49
0.718	0.931	78.5	0.9659	80.43
0.880	0.988	68.5	0.9965	69.89
0.889	0.988	67.8	0.9970	69.44

* x_1 は硝酸液相濃度, y_1 は硝酸気相濃度, P は全圧
 $y_{1\text{cal}}$ は硝酸気相濃度計算値, P_{calc} は全圧計算値

** $g_{12}-g_{22}=-1365.0(\text{cal/mol})$
 $g_{12}-g_{11}=-844.2(\text{cal/mol})$

表-3.10 硝酸／水系定圧気液平衡文献値の解析(圧力= 100mmHg, 文献⁸⁾)

x1 (mol fr.)	y1 (mol fr.)	t (°C)	y1cal (mol fr.)	tcal (°C)
0.149	0.012	61.6	0.0126	58.67
0.212	0.054	65.6	0.0462	62.90
0.250	0.106	68.1	0.0880	65.30
0.310	0.224	71.6	0.2023	68.22
0.354	0.343	72.6	0.3250	69.21
0.389	0.443	71.7	0.4382	69.11
0.398	0.463	71.5	0.4682	68.95
0.433	0.576	70.1	0.5831	67.83
0.552	0.817	61.9	0.8650	59.70
0.629	0.881	55.6	0.9443	53.25
0.654	0.904	54.0	0.9588	51.24
0.683	0.926	50.8	0.9712	49.02
0.695	0.917	48.8	0.9752	48.13
0.882	0.985	36.6	0.9983	37.61
0.923	0.994	34.8	0.9992	36.12

* x1は硝酸液相濃度, y1は硝酸気相濃度, Pは全圧
y1calは硝酸気相濃度計算値, Pcalcは全圧計算値

** g12-g22=-1600.5(cal/mol)
g12-g11=-731.6(cal/mol)

表-3.11 硝酸／水系定圧気液平衡文献値の解析(圧力= 50mmHg, 文献⁸⁾)

x1 (mol fr.)	y1 (mol fr.)	t (°C)	y1cal (mol fr.)	tcal (°C)
0.093	0.006	43.0	0.0025	41.46
0.153	0.010	48.2	0.0117	44.82
0.240	0.090	55.0	0.0649	50.24
0.283	0.165	56.9	0.1265	52.63
0.353	0.345	57.8	0.2975	55.04
0.357	0.358	57.9	0.3098	55.10
0.385	0.439	57.6	0.4007	55.23
0.392	0.458	57.1	0.4245	55.18
0.546	0.795	50.4	0.8558	47.22
0.551	0.804	50.2	0.8639	46.82
0.576	0.848	47.4	0.8990	44.77
0.664	0.923	38.5	0.9676	37.57
0.681	0.919	36.6	0.9744	36.26
0.713	0.941	32.6	0.9837	33.91
0.727	0.950	32.5	0.9867	32.94
0.887	0.990	24.6	0.9991	24.19

* x1は硝酸液相濃度, y1は硝酸気相濃度, Pは全圧
y1calは硝酸気相濃度計算値, Pcalcは全圧計算値

** g12-g22=-1506(cal/mol)
g12-g11=-925(cal/mol)

3.2.2 硝酸／水系の定圧気液平衡文献値の $x - y$ 関係図

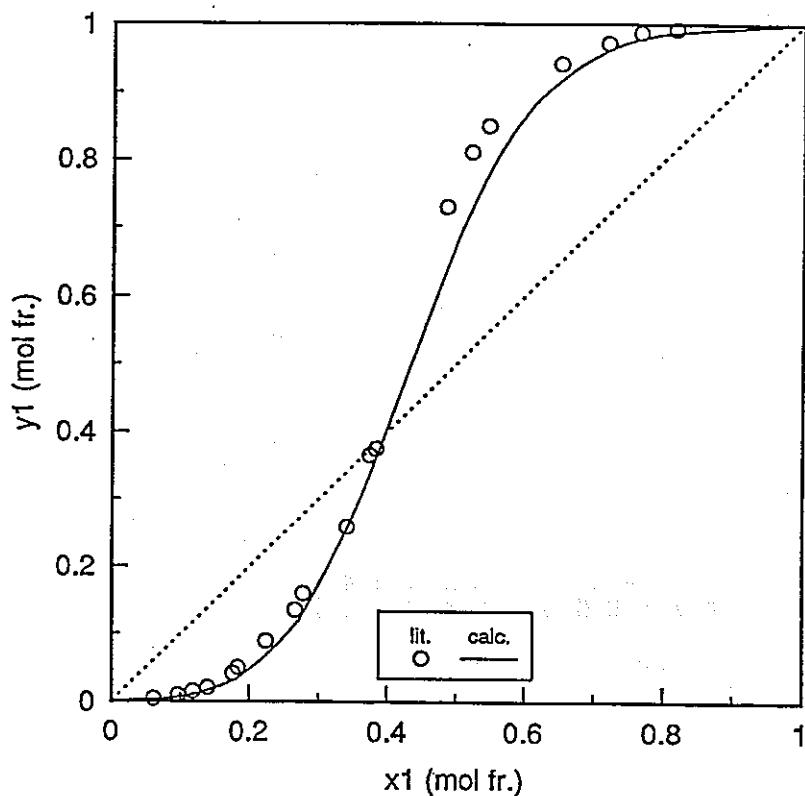


図-3.15 硝酸／水系定圧気液平衡文献値の $x - y$ 関係図 (圧力 = 760mmHg, 文献⁷⁾)

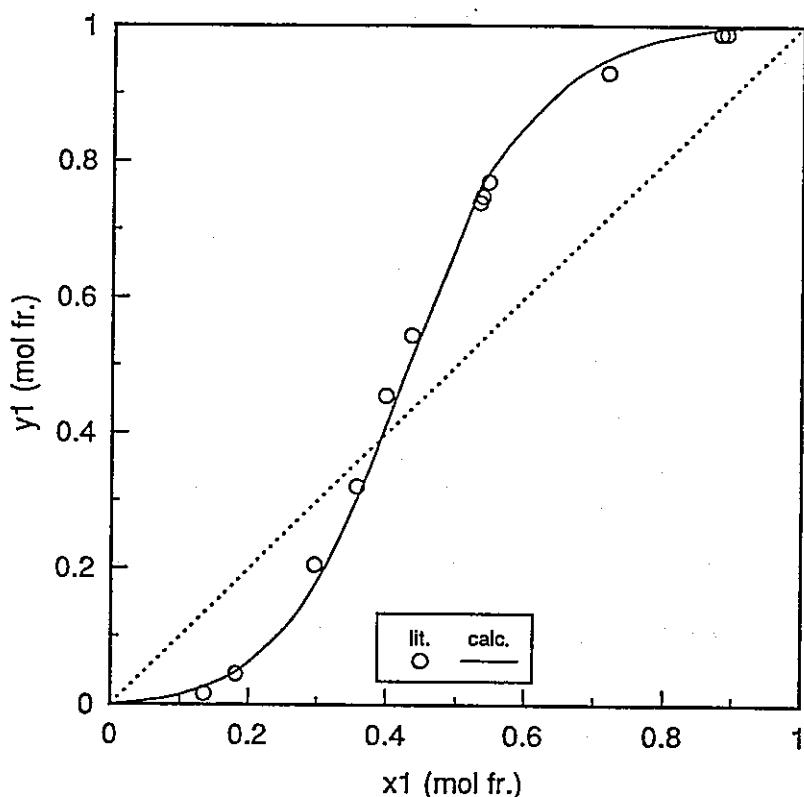


図-3.16 硝酸／水系定圧気液平衡文献値の $x - y$ 関係図 (圧力 = 400mmHg, 文献⁸⁾)

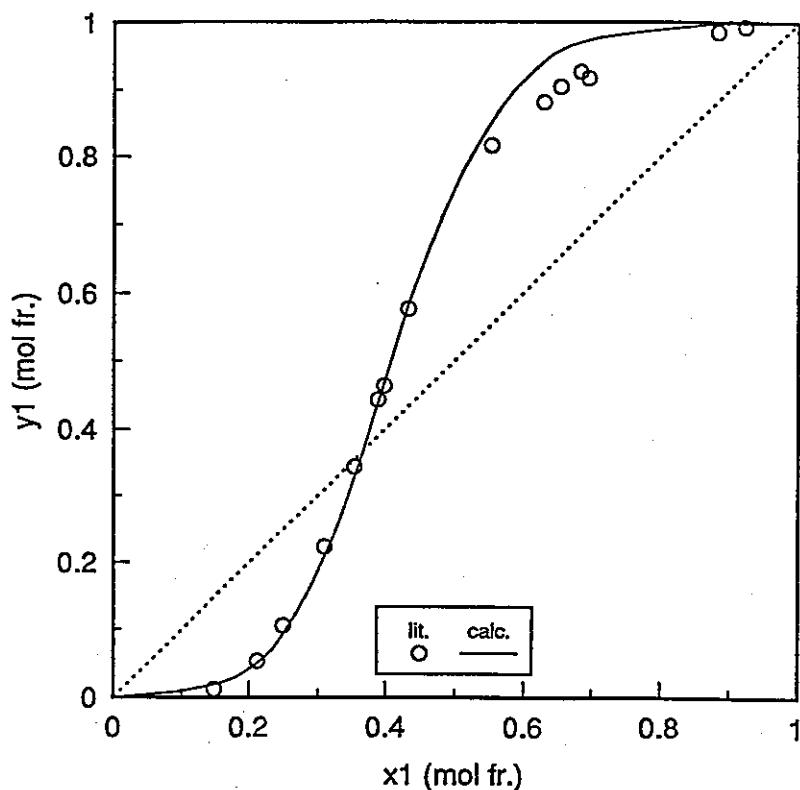


図-3.17 硝酸／水系定圧気液平衡文献値の $x - y$ 関係図 (圧力 = 100mmHg, 文献⁸⁾)

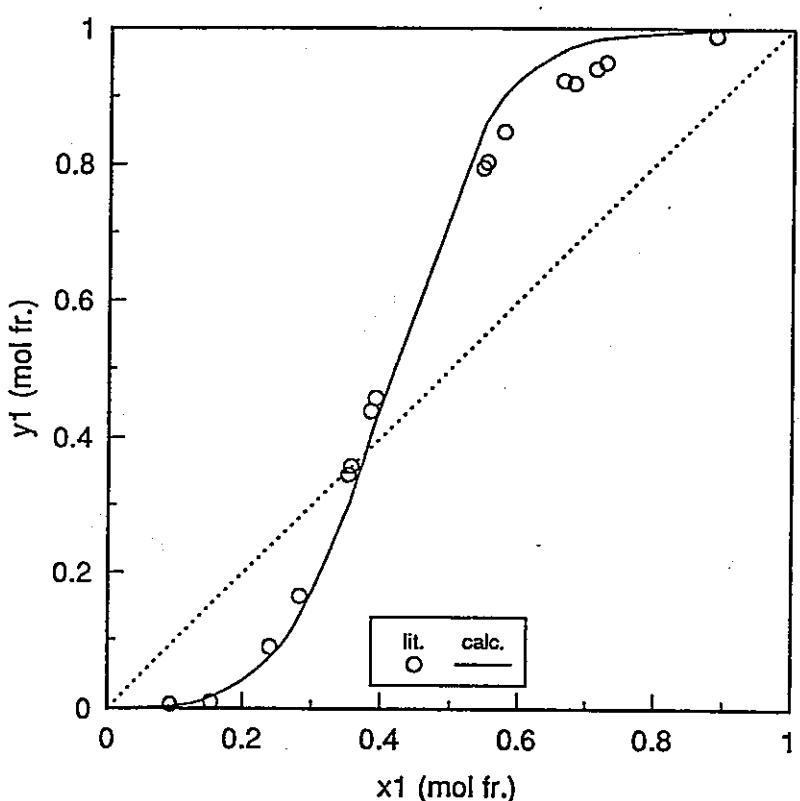


図-3.18 硝酸／水系定圧気液平衡文献値の $x - y$ 関係図 (圧力 = 50mmHg, 文献⁸⁾)

3.2.3 硝酸／水系の定圧気液平衡文献値の $x - t$ 関係図

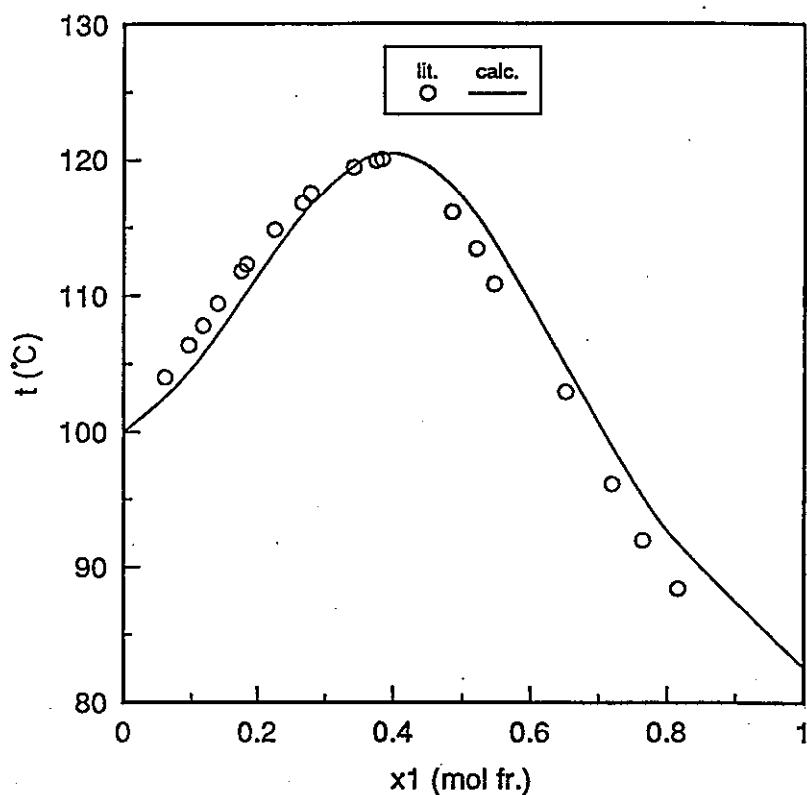


図-3.19 硝酸／水系定圧気液平衡文献値の $x - t$ 関係図 (圧力 = 760mmHg, 文献⁷⁾)

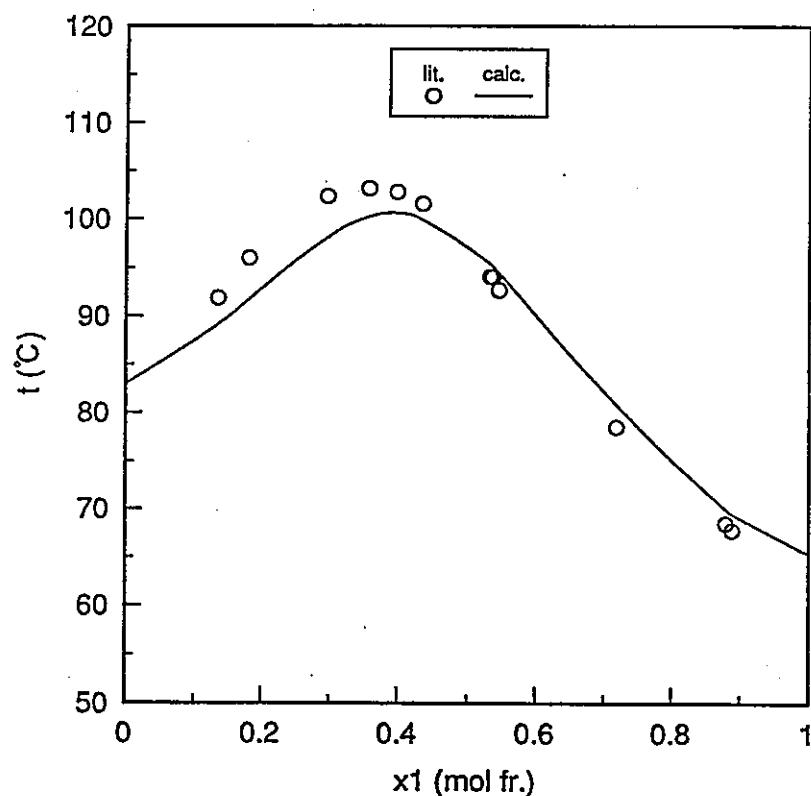


図-3.20 硝酸／水系定圧気液平衡文献値の $x - t$ 関係図 (圧力 = 400mmHg, 文献⁸⁾)

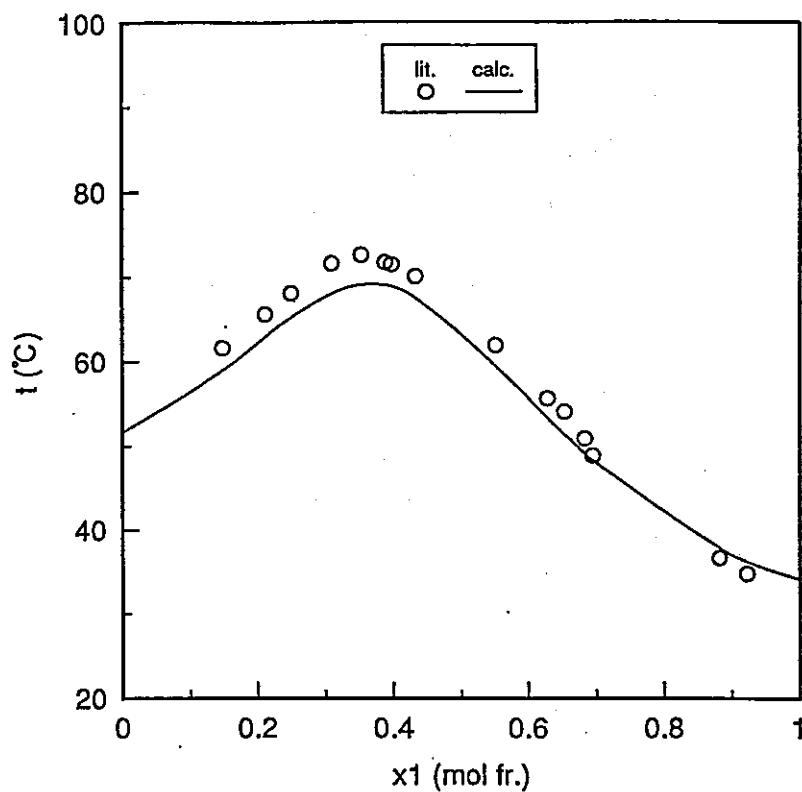


図-3.21 硝酸／水系定圧気液平衡文献値の $x - t$ 関係図 (圧力 = 100mmHg, 文献⁸⁾)

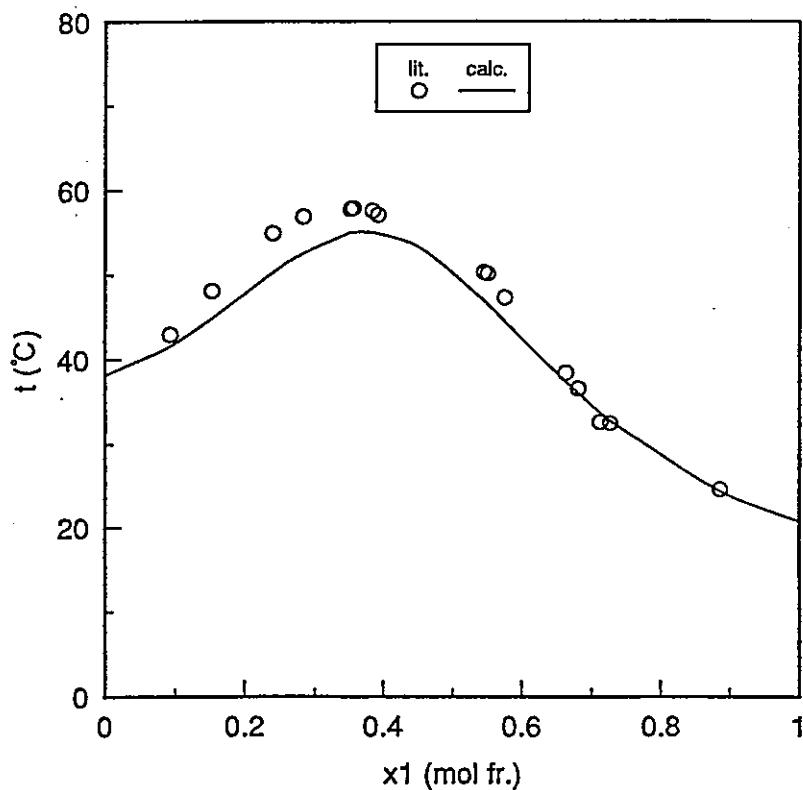


図-3.22 硝酸／水系定圧気液平衡文献値の $x - t$ 関係図 (圧力 = 50mmHg, 文献⁸⁾)

3.3 硝酸／水系の気液平衡の $x - \gamma$ 関係図

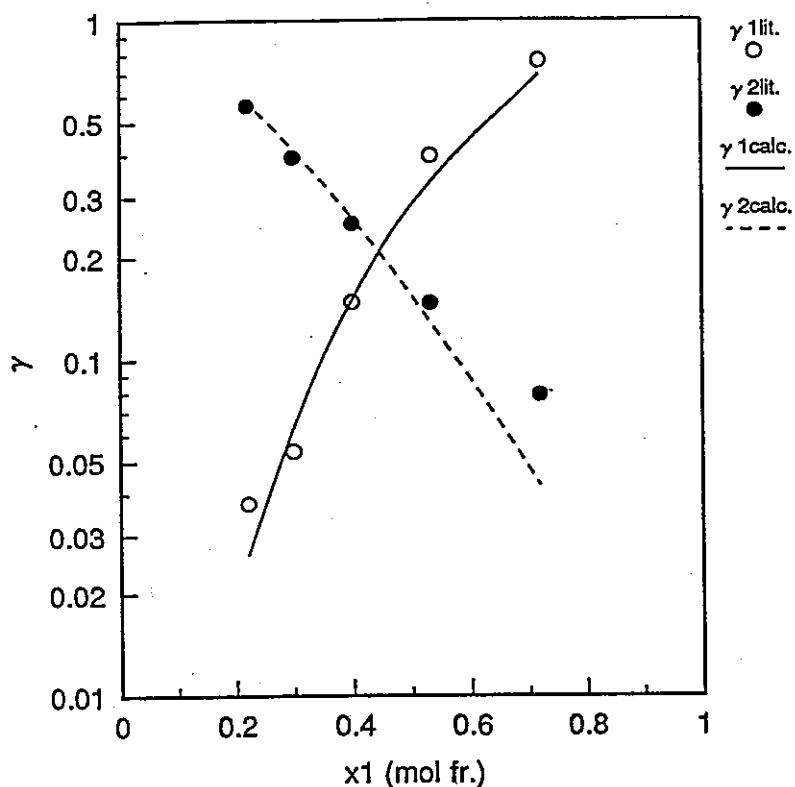


図-3.23 硝酸／水系気液平衡の $x - \gamma$ 関係図 (温度=10°C)

3.4 硝酸／水系の気液平衡時のNRTL式の温度依存性

NRTL式パラメータ $g_{12}-g_{22}$ 及び $g_{12}-g_{11}$ は各系ごとに求めた。すなわち、圧力または温度条件が異なる文献値は別個にパラメータを決定し、 α は 0.3で一定にした。

表-3.12 硝酸／水系気液平衡時のNRTL式の温度依存性

NRTL式パラメーターの単位 : (cal/mol)

$$\alpha = 0.3$$

系	温 度 (°C)	解析結果		計算値(1次近似式) *1	
		$g_{12}-g_{22}$	$g_{12}-g_{11}$	$g_{12}-g_{22}$	$g_{12}-g_{11}$
定温	0	-1591	-938	-1675	-909
定温	5	-1598	-920	-1665	-905
定温	10	-1594	-906	-1654	-900
定温	15	-1594	-892	-1644	-895
定温	20	-1590	-874	-1634	-889
定温	20	-1808	-886	-1634	-889
定温	25	-1846	-854	-1624	-884
50mmHg*2	49.8	-1506	-925	-1573	-859
100mmHg*2	64.0	-1601	-732	-1544	-844
400mmHg*2	93.6	-1365	-844	-1484	-814
760mmHg*2	115.5	-1477	-810	-1439	-792

*1. 下記の1次近似式による計算値。

$$g_{12}-g_{22} = -1674.8 + 2.0396 t$$

$$g_{12}-g_{11} = -909.9 + 1.0246 t$$

*2. 定圧データの温度は平均値をとった。

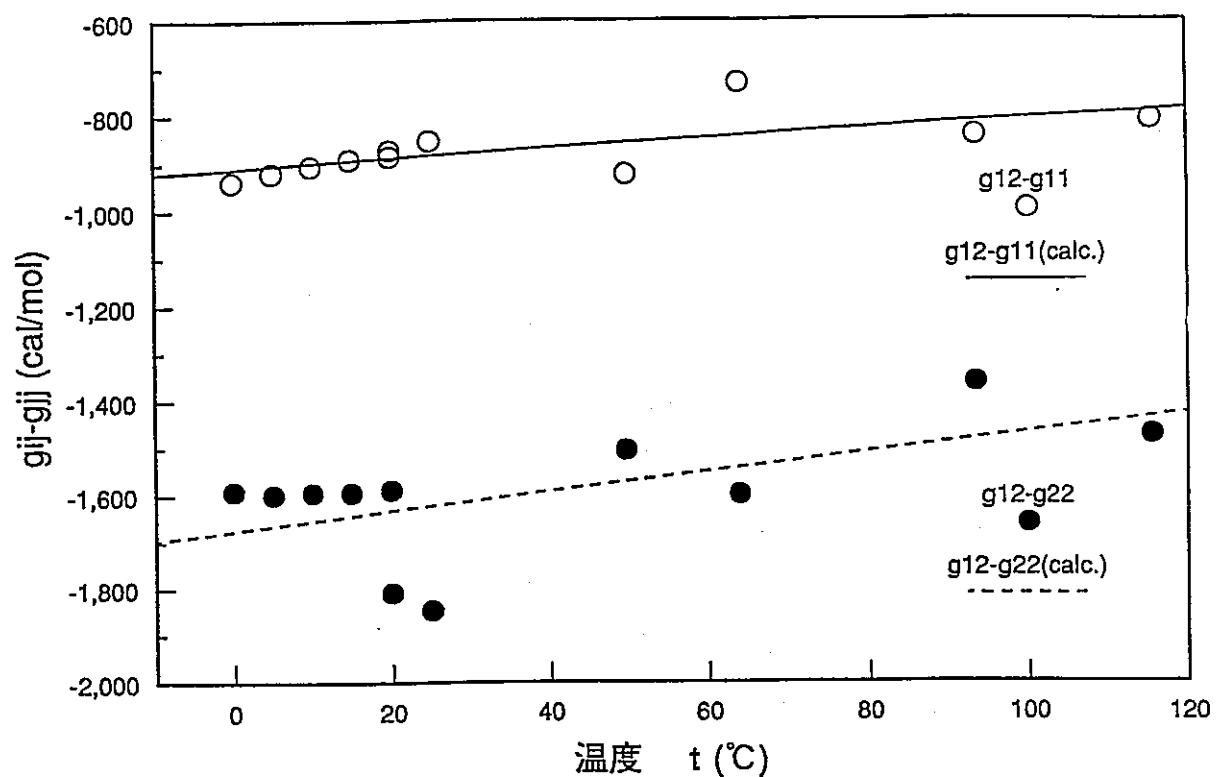


図-3.24 硝酸／水系気液平衡時のNRTL式の温度依存性

4. 定温気液平衡値の計算結果

4.1 硝酸／水系の定温気液平衡計算値

表-4.1 硝酸／水系定温気液平衡計算値（温度:-10°C）

x1 (mol fr.)	y1 (mol fr.)	P (mmHg)
0.05	0.00005	1.86
0.10	0.0006	1.55
0.15	0.0038	1.23
0.20	0.0173	0.96
0.25	0.0614	0.75
0.30	0.1699	0.62
0.35	0.3612	0.58
0.40	0.5871	0.63
0.45	0.7693	0.79
0.50	0.8814	1.05
0.55	0.9411	1.41
0.60	0.9712	1.88
0.65	0.9860	2.44
0.70	0.9933	3.08
0.75	0.9969	3.79
0.80	0.9986	4.54
0.85	0.9994	5.28
0.90	0.9998	5.99
0.95	0.9999	6.60

* x1は硝酸の液相濃度,y1は硝酸の気相濃度

** g12-g22=-1695(cal/mol)

g12-g11=-920(cal/mol)

表-4.2 硝酸／水系定温気液平衡計算値（温度: 0°C）

x1 (mol fr.)	y1 (mol fr.)	P (mmHg)
0.05	0.0001	4.06
0.10	0.0008	3.43
0.15	0.0047	2.77
0.20	0.0185	2.19
0.25	0.0639	1.74
0.30	0.1679	1.45
0.35	0.3474	1.35
0.40	0.5633	1.45
0.45	0.7456	1.76
0.50	0.8641	2.28
0.55	0.9303	3.01
0.60	0.9649	3.94
0.65	0.9825	5.06
0.70	0.9914	6.34
0.75	0.9959	7.74
0.80	0.9981	9.21
0.85	0.9992	10.67
0.90	0.9997	12.04
0.95	0.9999	13.23

* x1は硝酸の液相濃度,y1は硝酸の気相濃度

** g12-g22=-1675(cal/mol)

g12-g11=-910(cal/mol)

表-4.3 硝酸／水系定温気液平衡計算値（温度：10°C）

x_1 (mol fr.)	y_1 (mol fr.)	P (mmHg)
0.05	0.0001	8.28
0.10	0.0011	7.09
0.15	0.0057	5.81
0.20	0.0217	4.67
0.25	0.0666	3.76
0.30	0.1666	3.18
0.35	0.3357	2.95
0.40	0.5417	3.11
0.45	0.7228	3.67
0.50	0.8463	4.65
0.55	0.9187	6.02
0.60	0.9579	7.78
0.65	0.9785	9.88
0.70	0.9892	12.27
0.75	0.9947	14.87
0.80	0.9975	17.57
0.85	0.9989	20.26
0.90	0.9996	22.79
0.95	0.9999	24.97

* x_1 は硝酸の液相濃度, y_1 は硝酸の気相濃度** $g_{12}-g_{22}=-1654(\text{cal/mol})$ $g_{12}-g_{11}=-900(\text{cal/mol})$

表-4.4 硝酸／水系定温気液平衡計算値（温度：20°C）

x_1 (mol fr.)	y_1 (mol fr.)	P (mmHg)
0.05	0.0002	15.94
0.10	0.0015	13.78
0.15	0.0068	11.46
0.20	0.0241	9.34
0.25	0.0695	7.64
0.30	0.1661	6.51
0.35	0.3262	6.04
0.40	0.5227	6.28
0.45	0.7013	7.26
0.50	0.8288	8.98
0.55	0.9066	11.43
0.60	0.9504	14.55
0.65	0.9740	18.27
0.70	0.9867	22.49
0.75	0.9933	27.06
0.80	0.9968	31.80
0.85	0.9986	36.50
0.90	0.9994	40.90
0.95	0.9998	44.71

* x_1 は硝酸の液相濃度, y_1 は硝酸の気相濃度** $g_{12}-g_{22}=-1634(\text{cal/mol})$ $g_{12}-g_{11}=-889(\text{cal/mol})$

表-4.5 硝酸／水系定温気液平衡計算値(温度: 30°C)

x_1 (mol fr.)	y_1 (mol fr.)	P (mmHg)
0.05	0.0003	29.15
0.10	0.0018	25.40
0.15	0.0078	21.34
0.20	0.0260	17.58
0.25	0.0714	14.54
0.30	0.1648	12.48
0.35	0.3170	11.56
0.40	0.5056	11.88
0.45	0.6818	13.48
0.50	0.8123	16.37
0.55	0.8949	20.50
0.60	0.9429	25.78
0.65	0.9696	32.07
0.70	0.9841	39.18
0.75	0.9919	46.86
0.80	0.9960	54.81
0.85	0.9982	62.67
0.90	0.9993	70.02
0.95	0.9998	76.40

** x_1 は硝酸の液相濃度, y_1 は硝酸の気相濃度* $g_{12}-g_{22}=-1614(\text{cal/mol})$ $g_{12}-g_{11}=-879(\text{cal/mol})$

表-4.6 硝酸／水系定温気液平衡計算値(温度: 40°C)

x_1 (mol fr.)	y_1 (mol fr.)	P (mmHg)
0.05	0.0004	50.99
0.10	0.0024	44.84
0.15	0.0094	38.13
0.20	0.0291	31.86
0.25	0.0752	26.73
0.30	0.1660	23.18
0.35	0.3106	21.51
0.40	0.4898	21.89
0.45	0.6616	24.40
0.50	0.7938	29.03
0.55	0.8810	35.69
0.60	0.9335	44.21
0.65	0.9637	54.36
0.70	0.9805	65.80
0.75	0.9898	78.13
0.80	0.9949	90.85
0.85	0.9976	103.40
0.90	0.9990	115.13
0.95	0.9997	125.34

* x_1 は硝酸の液相濃度, y_1 は硝酸の気相濃度** $g_{12}-g_{22}=-1593(\text{cal/mol})$ $g_{12}-g_{11}=-869(\text{cal/mol})$

表-4.7 硝酸／水系定温気液平衡計算値（温度：50°C）

x_1^l (mol fr.)	y_1^l (mol fr.)	P (mmHg)
0.05	0.0006	85.63
0.10	0.0030	75.82
0.15	0.0109	65.09
0.20	0.0316	54.99
0.25	0.0781	46.63
0.30	0.1664	40.75
0.35	0.3044	37.85
0.40	0.4759	38.21
0.45	0.6436	41.96
0.50	0.7768	49.07
0.55	0.8679	59.39
0.60	0.9245	72.63
0.65	0.9578	88.40
0.70	0.9770	106.15
0.75	0.9877	125.25
0.80	0.9937	144.93
0.85	0.9970	164.30
0.90	0.9987	182.41
0.95	0.9996	198.23

** x_1^l は硝酸の液相濃度, y_1^l は硝酸の気相濃度* $g_{12}-g_{22}=-1573\text{ (cal/mol)}$ $g_{12}-g_{11}=-859\text{ (cal/mol)}$

4.2 硝酸／水系の定温気液平衡計算値の $x - y$ 関係図

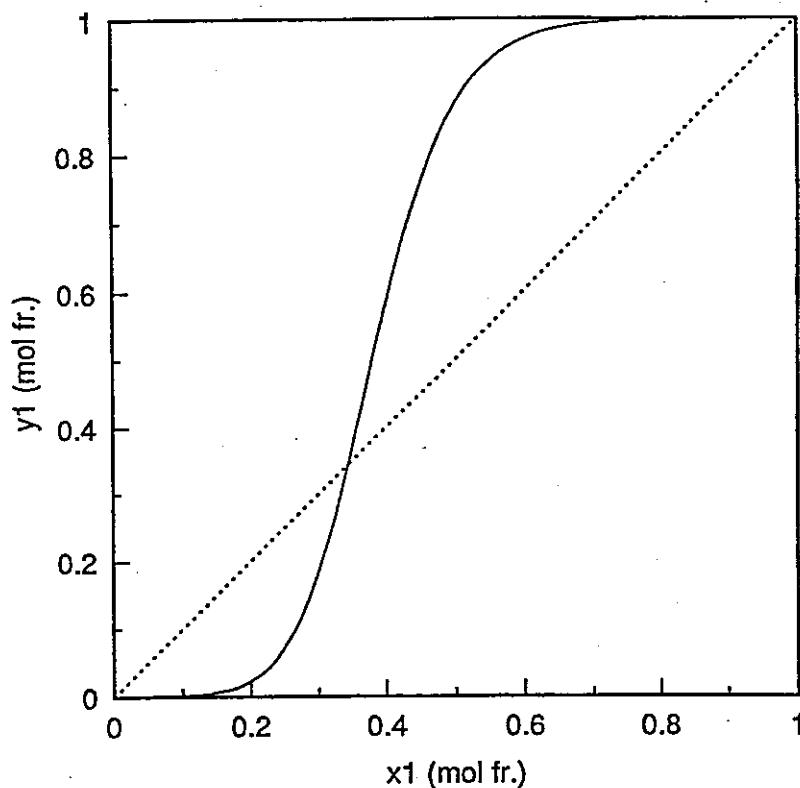


図-4.1 硝酸／水系定温気液平衡文献値の $x - y$ 関係図 (温度:-10°C)

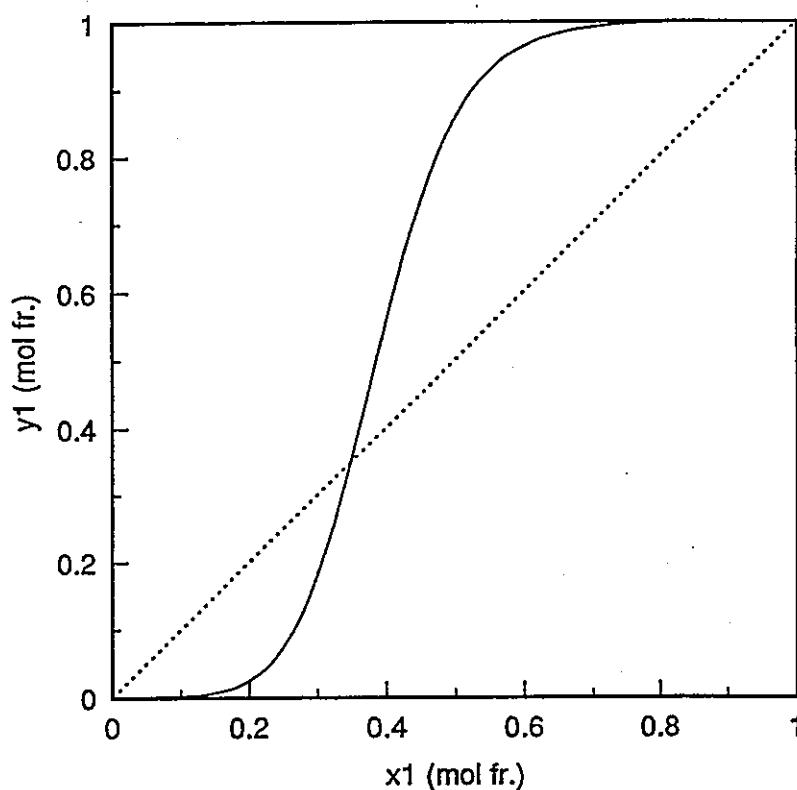


図-4.2 硝酸／水系定温気液平衡文献値の $x - y$ 関係図 (温度: 0°C)

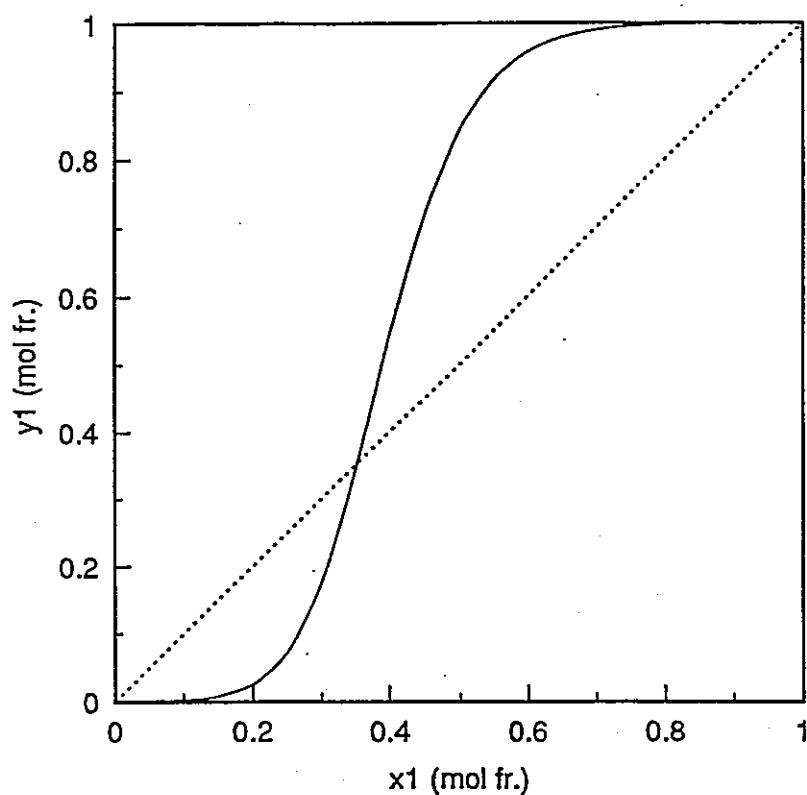


図-4.3 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-y関係図（温度：10°C）

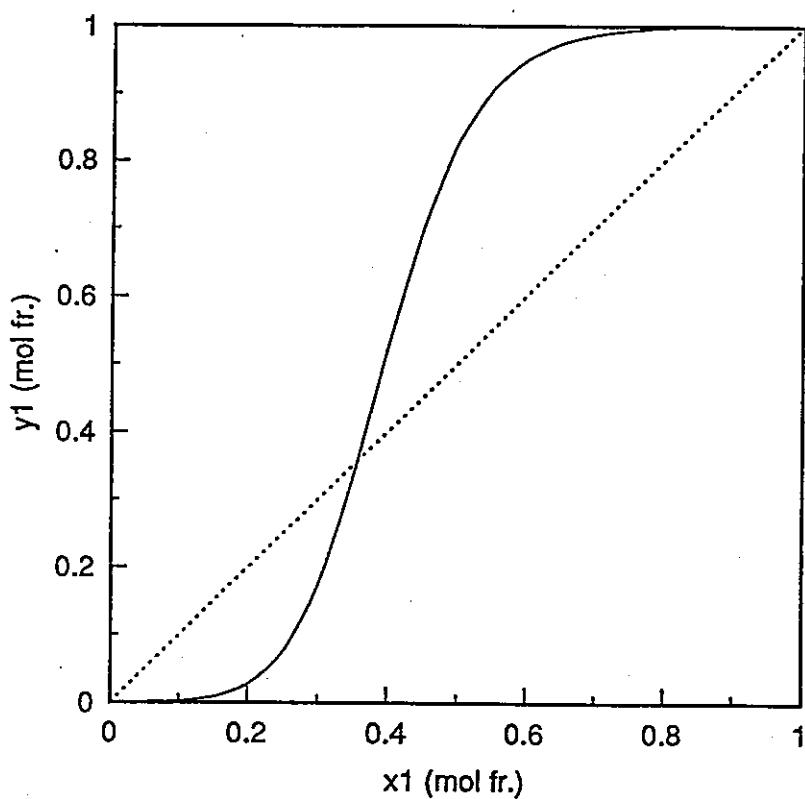


図-4.4 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-y関係図（温度：20°C）

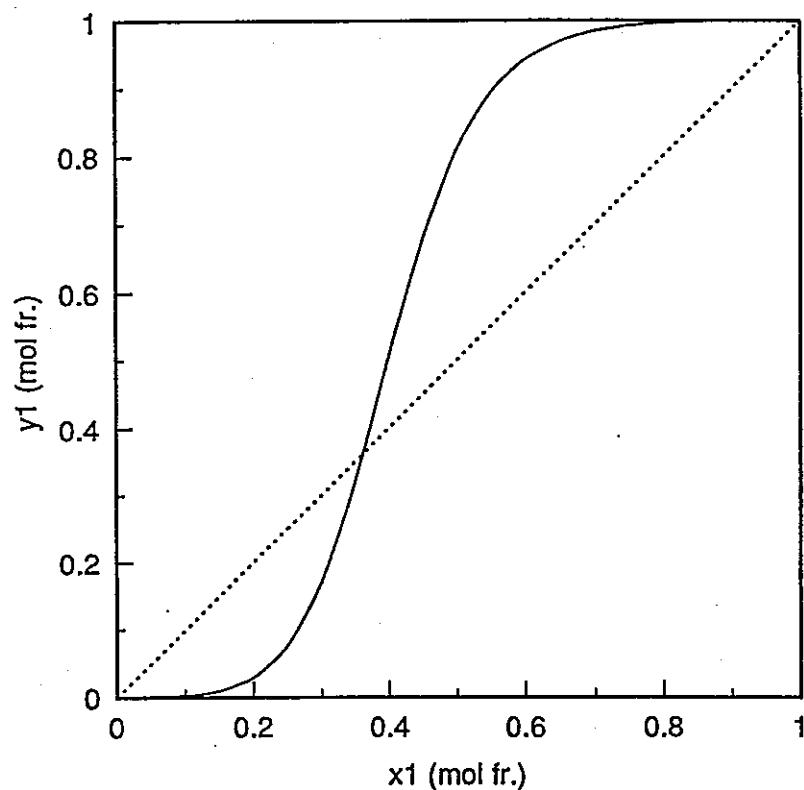


図-4.5 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-y関係図（温度：30°C）

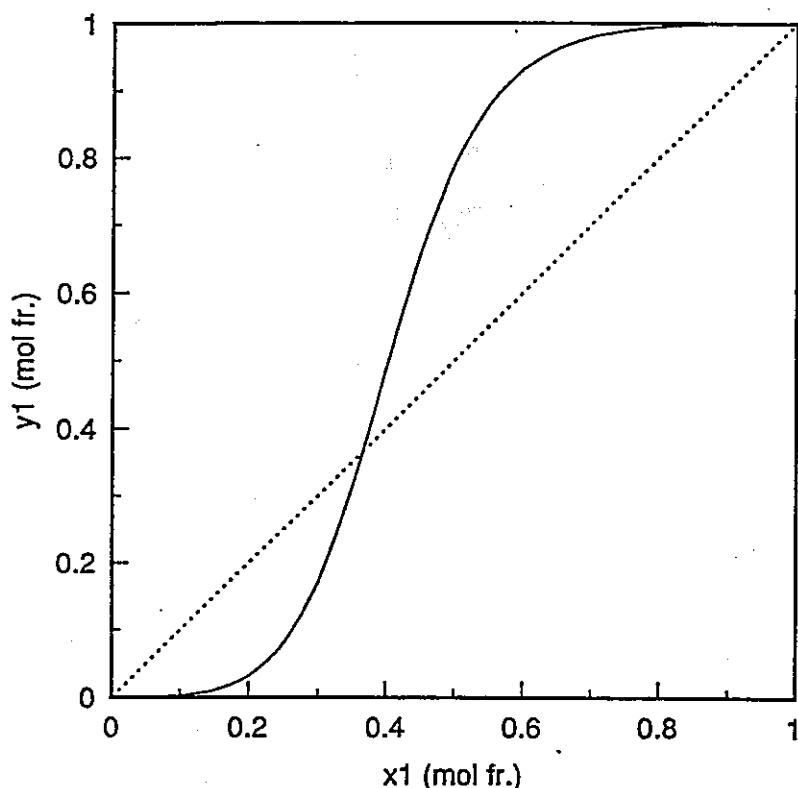


図-4.6 硝酸／水系定温気液平衡文献値のx-y関係図（温度：40°C）

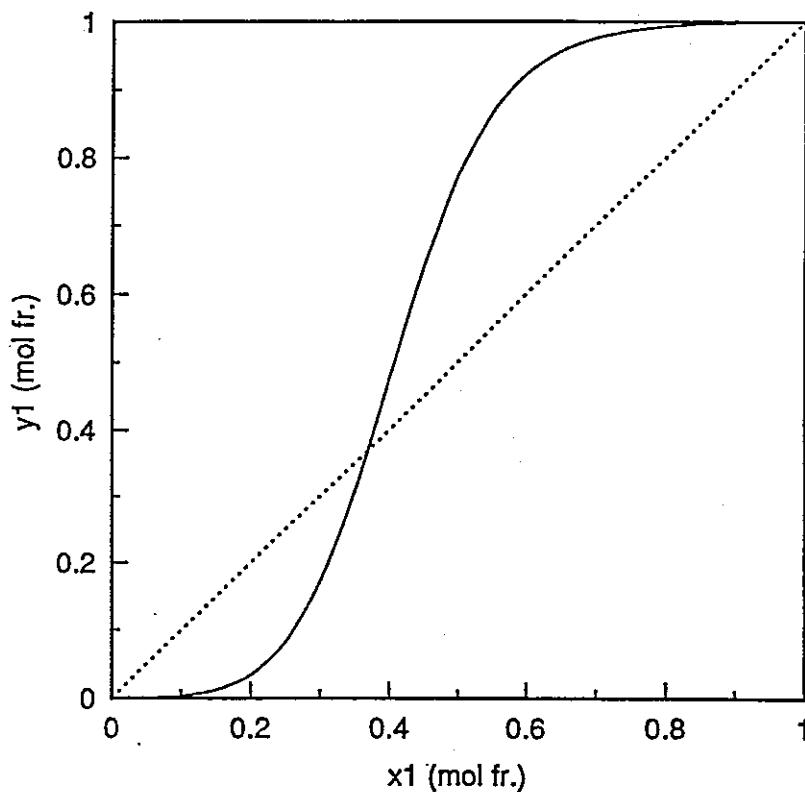


図-4.7 硝酸／水系定温気液平衡文献値の $x - y$ 関係図（温度：50°C）

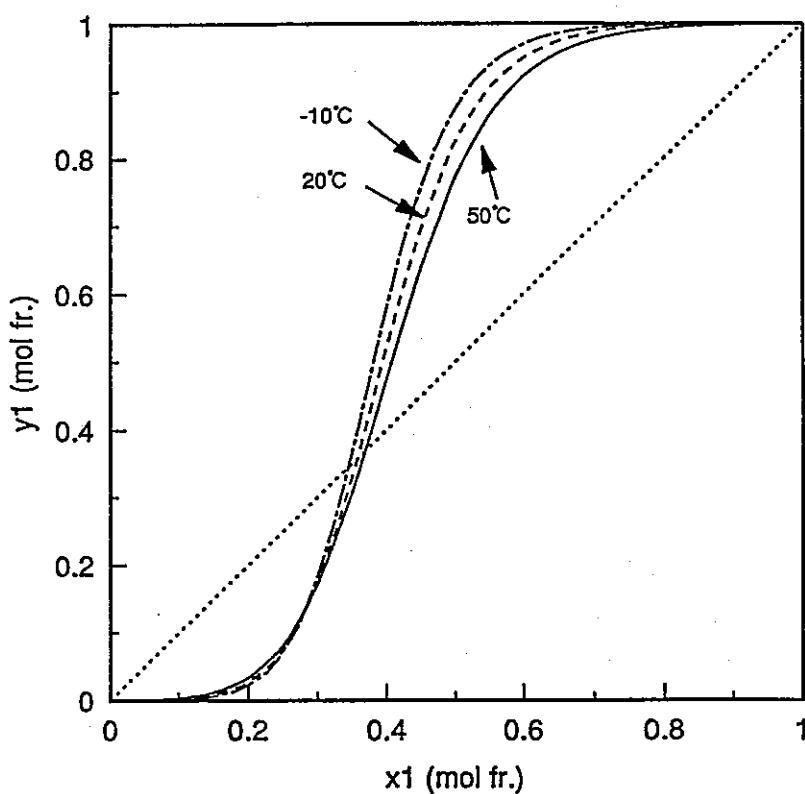


図-4.8 硝酸／水系定温気液平衡文献値の $x - y$ 関係図（温度：10, 20, 50°C）

4.3 硝酸／水系定温気液平衡計算値の $x - P$ 関係図

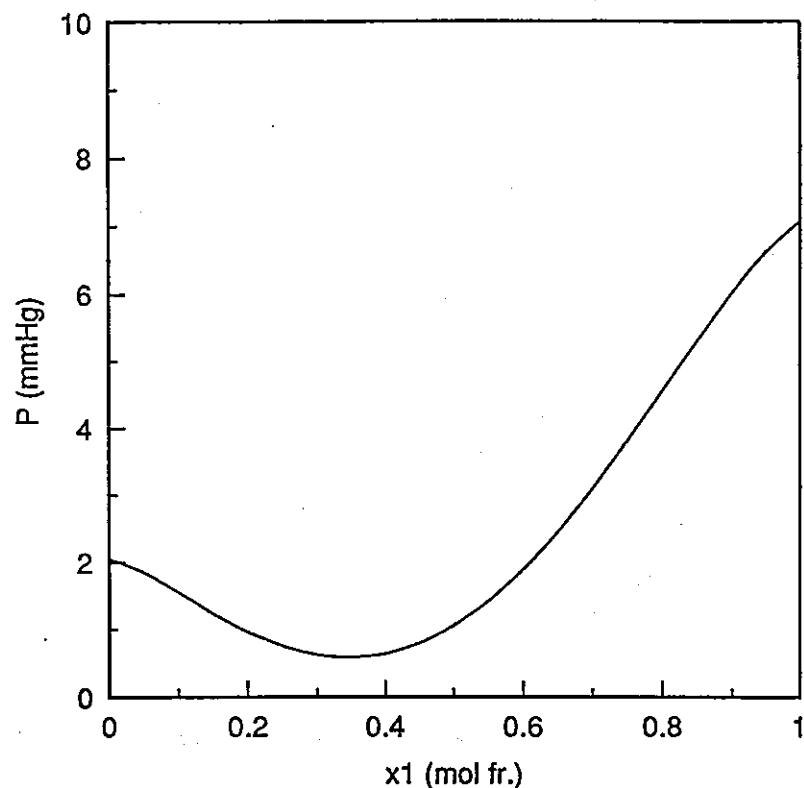


図-4.9 硝酸／水系定温気液平衡計算値の $x - P$ 関係図 (温度: -10°C)

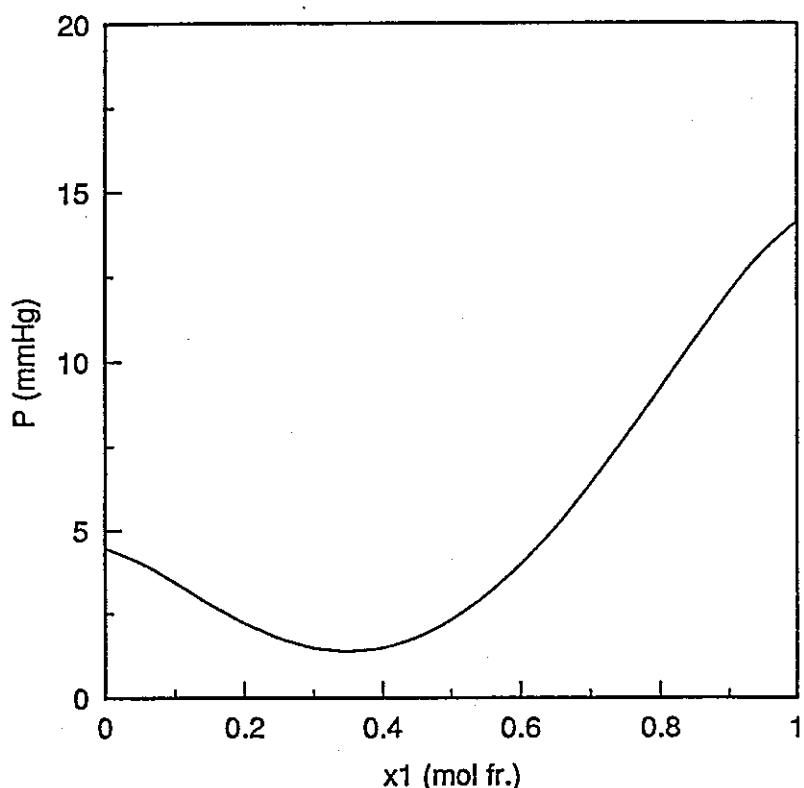


図-4.10 硝酸／水系定温気液平衡計算値の $x - P$ 関係図 (温度: 0°C)

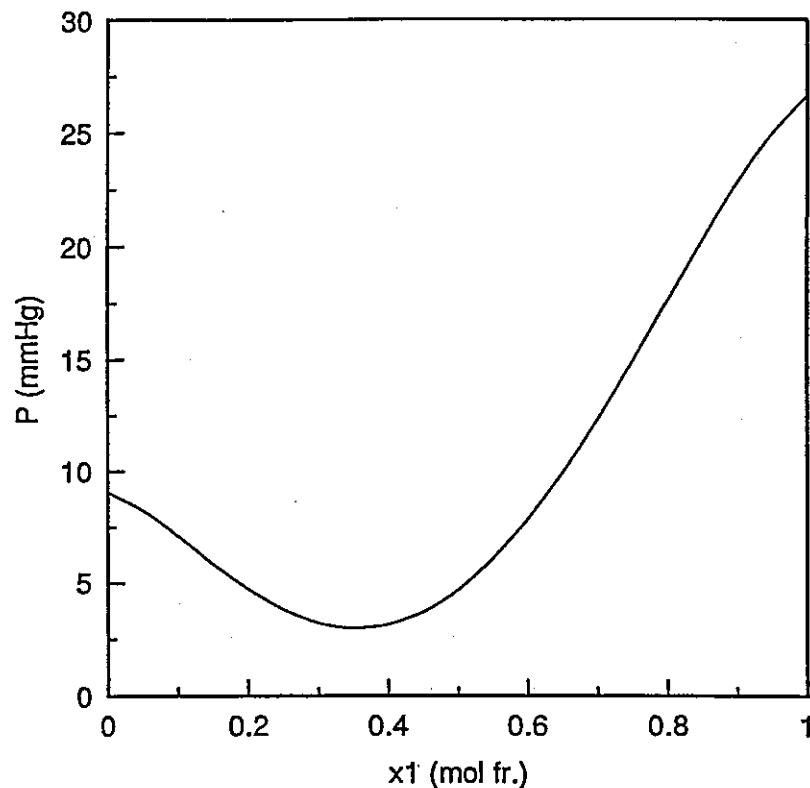


図-4.11 硝酸／水系定温気液平衡計算値の $x - P$ 関係図 (温度: 10°C)

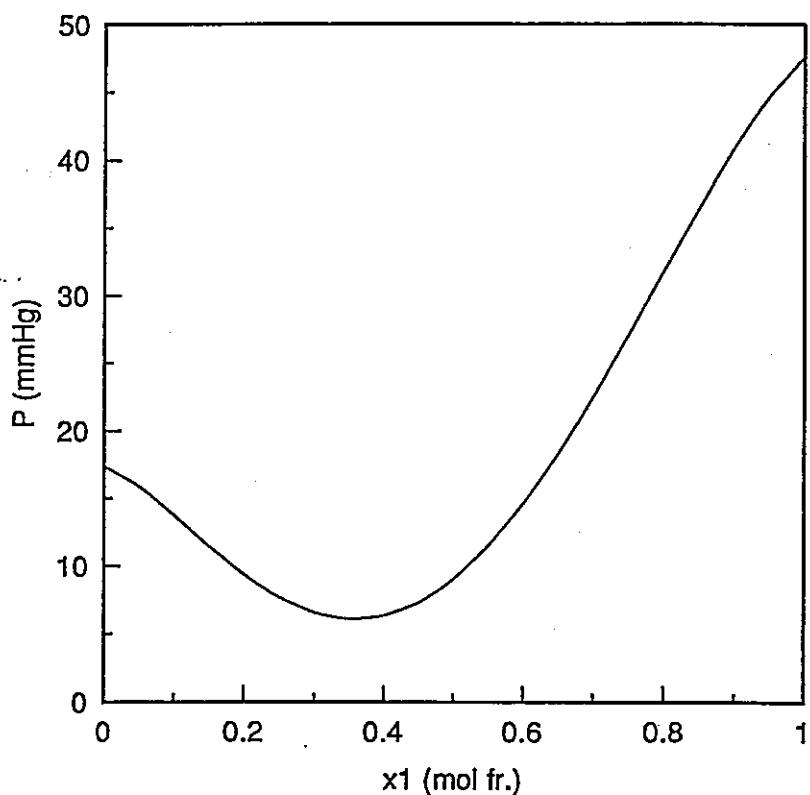


図-4.12 硝酸／水系定温気液平衡計算値の $x - P$ 関係図 (温度: 20°C)

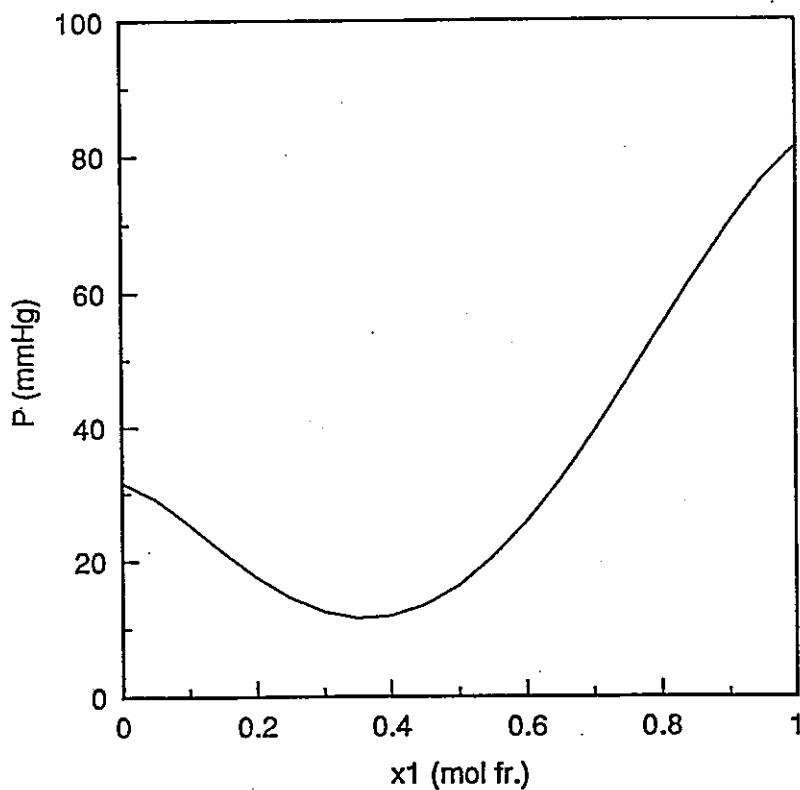


図-4.13 硝酸／水系定温気液平衡計算値の $x - P$ 関係図（温度：30°C）

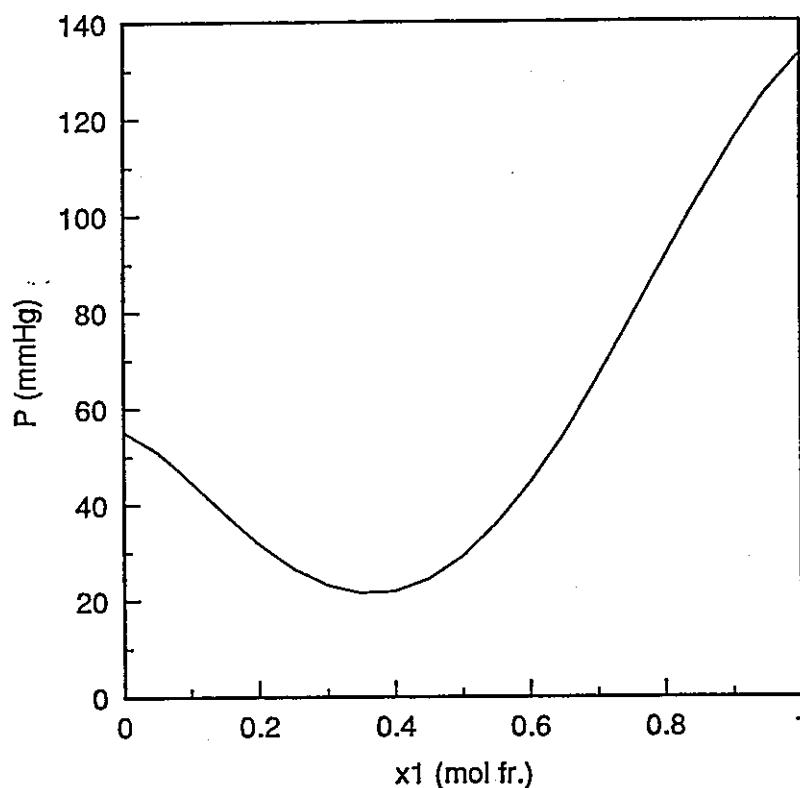


図-4.14 硝酸／水系定温気液平衡計算値の $x - P$ 関係図（温度：40°C）

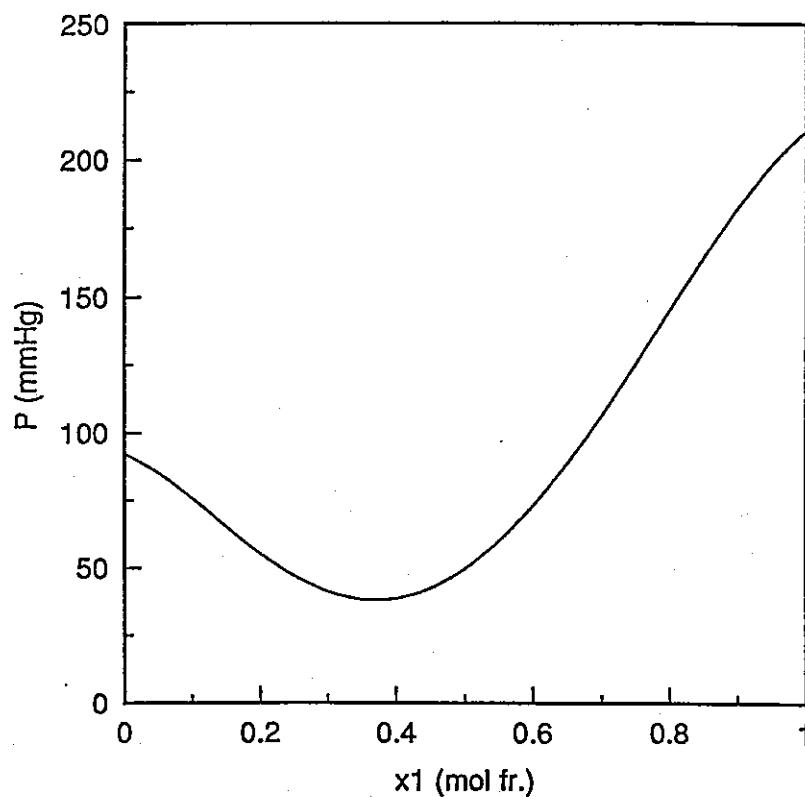


図-4.15 硝酸／水系定温気液平衡計算値の $x - P$ 関係図 (温度: 50°C)

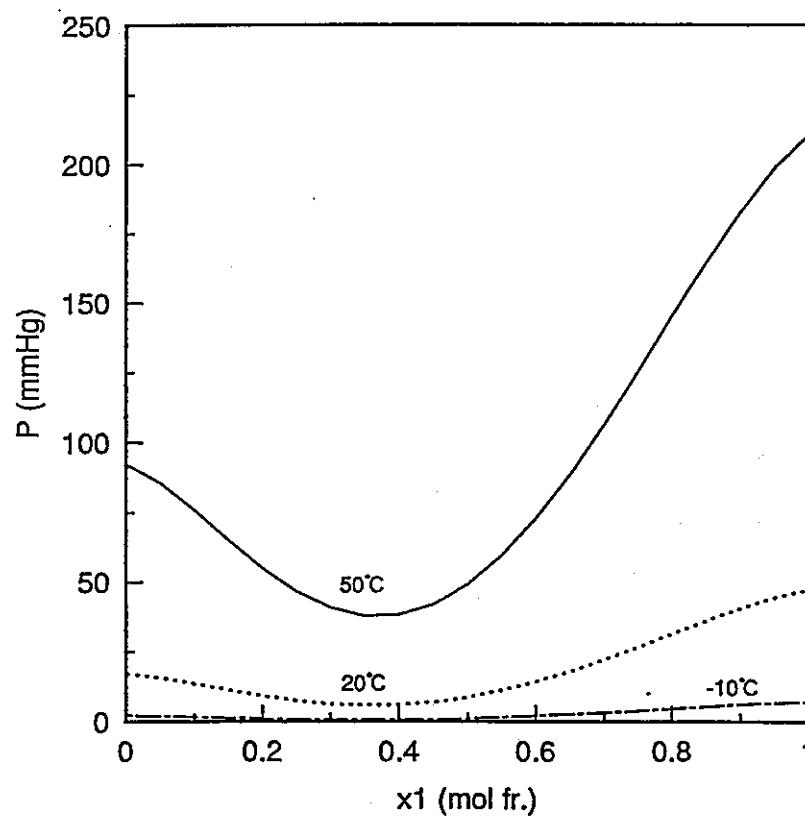


図-4.16 硝酸／水系定温気液平衡計算値の $x - P$ 関係図 (温度: 10, 20, 50 °C)

4.4 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値

表-4.8 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値（温度:-10°C）

x_1 (mol fr.)	y_1 (mol fr.)	P (mmHg)
0.005	0.000001	2.05
0.010	0.000002	2.04
0.020	0.000006	2.00
0.030	0.000013	1.96
0.040	0.000026	1.91
0.050	0.000049	1.86
0.060	0.000086	1.81
0.070	0.000145	1.75
0.080	0.000236	1.68
0.090	0.000373	1.62

** x_1 は硝酸の液相濃度, y_1 は硝酸の気相濃度* $g_{12}-g_{22}=-1695$ (cal/mol) $g_{12}-g_{11}=-920$ (cal/mol)

表-4.9 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値（温度: 0°C）

x_1 (mol fr.)	y_1 (mol fr.)	P (mmHg)
0.005	0.000002	4.44
0.010	0.000004	4.41
0.020	0.000011	4.34
0.030	0.000024	4.26
0.040	0.000047	4.16
0.050	0.000083	4.06
0.060	0.000141	3.94
0.070	0.000228	3.82
0.080	0.000358	3.70
0.090	0.000546	3.57
0.100	0.000816	3.43

** x_1 は硝酸の液相濃度, y_1 は硝酸の気相濃度* $g_{12}-g_{22}=-1675$ (cal/mol) $g_{12}-g_{11}=-910$ (cal/mol)

表-4.10 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値（温度：10°C）

x_1 (mol fr.)	y_1 (mol fr.)	P (mmHg)
0.005	0.000003	9.02
0.010	0.000007	8.96
0.020	0.000020	8.83
0.030	0.000042	8.66
0.040	0.000078	8.48
0.050	0.000134	8.28
0.060	0.000218	8.06
0.070	0.000342	7.83
0.080	0.000520	7.59
0.090	0.000772	7.34
0.100	0.001121	7.09

** x_1 は硝酸の液相濃度, y_1 は硝酸の気相濃度* $g_{12}-g_{22}=-1654$ (cal/mol) $g_{12}-g_{11}=-900$ (cal/mol)

表-4.11 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値（温度：20°C）

x_1 (mol fr.)	y_1 (mol fr.)	P (mmHg)
0.005	0.000005	17.29
0.010	0.000012	17.18
0.020	0.000034	16.93
0.030	0.000068	16.64
0.040	0.000123	16.31
0.050	0.000204	15.94
0.060	0.000322	15.54
0.070	0.000491	15.13
0.080	0.000727	14.69
0.090	0.001051	14.24
0.100	0.001490	13.78

** x_1 は硝酸の液相濃度, y_1 は硝酸の気相濃度* $g_{12}-g_{22}=-1634$ (cal/mol) $g_{12}-g_{11}=-889$ (cal/mol)

表-4.12 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値（温度：30°C）

x_1 (mol fr.)	y_1 (mol fr.)	P (mmHg)
0.005	0.000009	31.52
0.010	0.000020	31.33
0.020	0.000054	30.89
0.030	0.000107	30.37
0.040	0.000185	29.79
0.050	0.000300	29.16
0.060	0.000461	28.48
0.070	0.000686	27.76
0.080	0.000993	27.01
0.090	0.001405	26.24
0.100	0.001952	25.44

** x_1 は硝酸の液相濃度, y_1 は硝酸の気相濃度* $g_{12}-g_{22}=-1614\text{ (cal/mol)}$ $g_{12}-g_{11}=-870\text{ (cal/mol)}$

表-4.13 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値（温度：40°C）

x_1 (mol fr.)	y_1 (mol fr.)	P (mmHg)
0.005	0.000014	54.93
0.010	0.000031	54.61
0.020	0.000080	53.86
0.030	0.000154	53.00
0.040	0.000262	52.04
0.050	0.000414	50.99
0.060	0.000623	49.86
0.070	0.000907	48.67
0.080	0.001287	47.43
0.090	0.001786	46.15
0.100	0.002435	44.84

** x_1 は硝酸の液相濃度, y_1 は硝酸の気相濃度* $g_{12}-g_{22}=-1593\text{ (cal/mol)}$ $g_{12}-g_{11}=-869\text{ (cal/mol)}$

表-4.14 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値（温度：50°C）

x1 (mol fr.)	y1 (mol fr.)	P (mmHg)
0.005	0.000020	91.99
0.010	0.000046	91.46
0.020	0.000116	90.24
0.030	0.000217	88.85
0.040	0.000360	87.31
0.050	0.000558	85.63
0.060	0.000824	83.83
0.070	0.001178	81.94
0.080	0.001642	79.96
0.090	0.002241	77.91
0.100	0.003007	75.82

** x1は硝酸の液相濃度, y1は硝酸の気相濃度

* g12-g22=-1573(cal/mol)

g12-g11=-859(cal/mol)

4.5 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値の $x - y$ 関係図

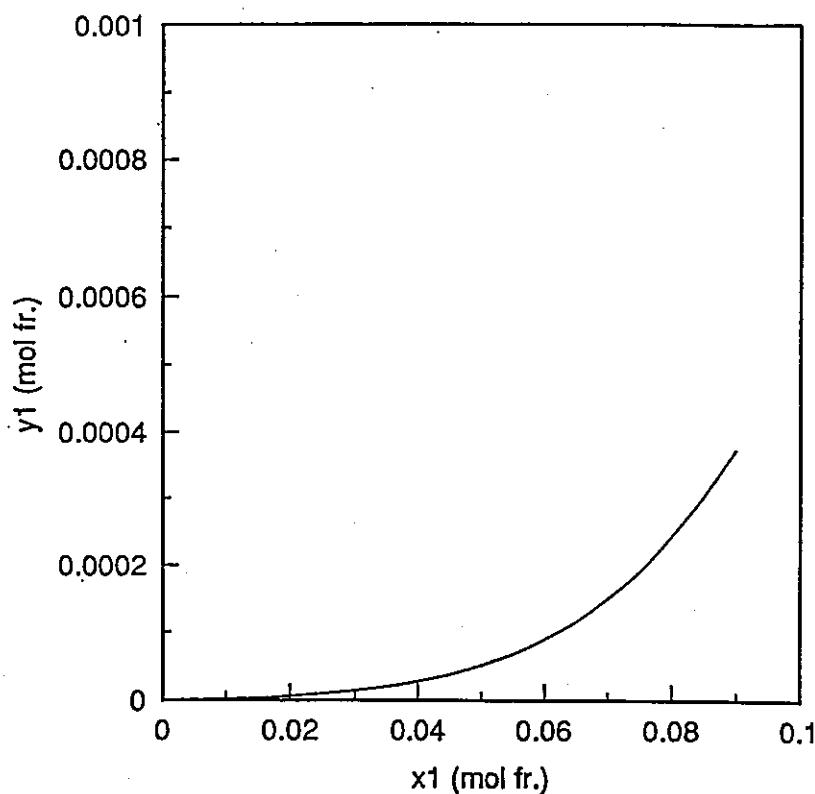


図-4.17 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値の $x - y$ 関係図 (温度:-10°C)

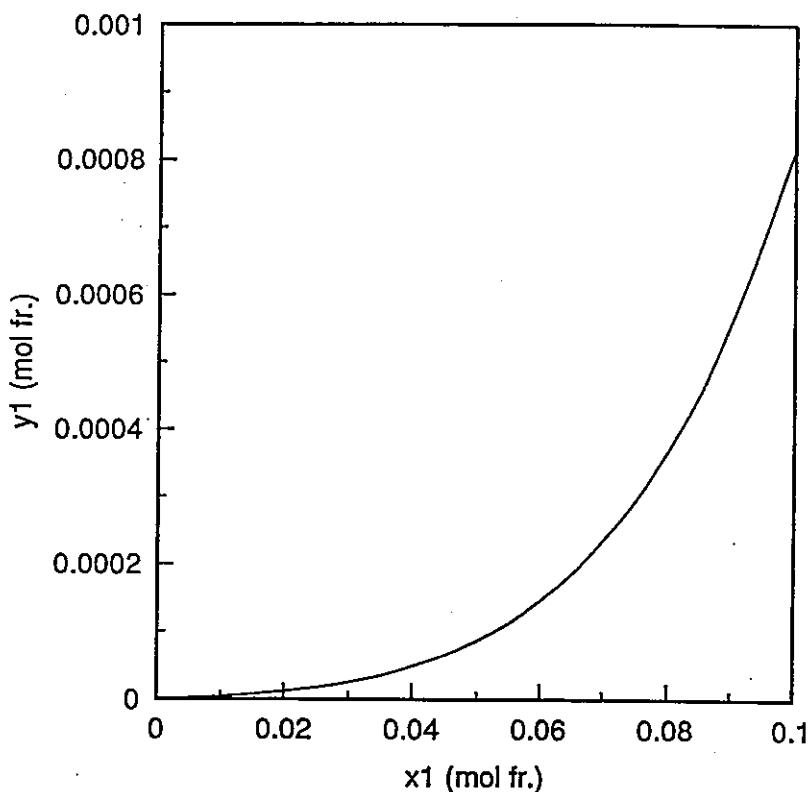


図-4.18 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値の $x - y$ 関係図 (温度: 0°C)

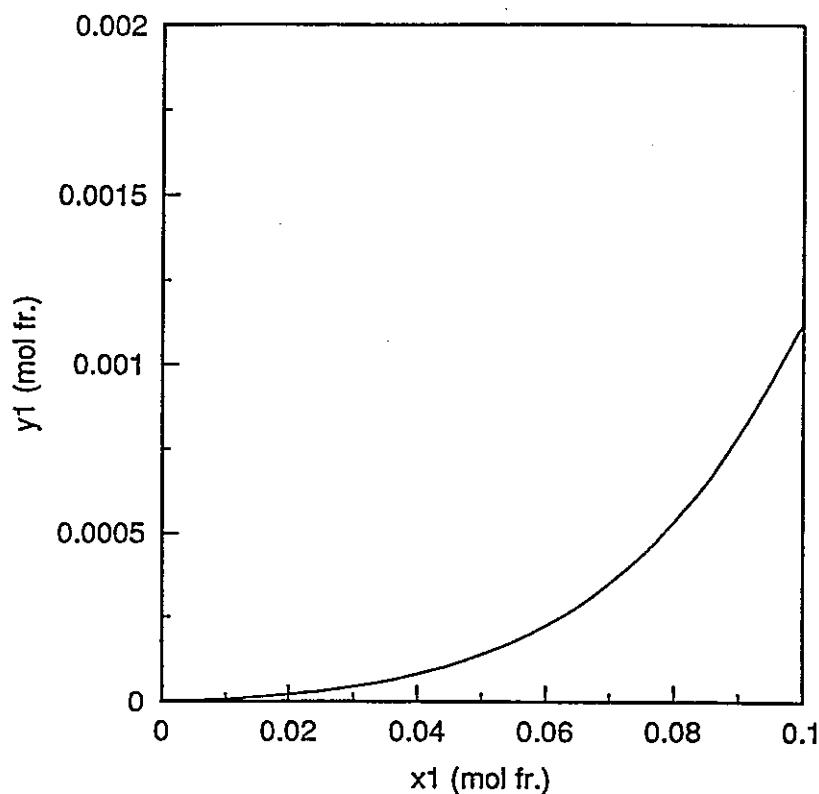


図-4.19 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値のx-y関係図（温度：10°C）

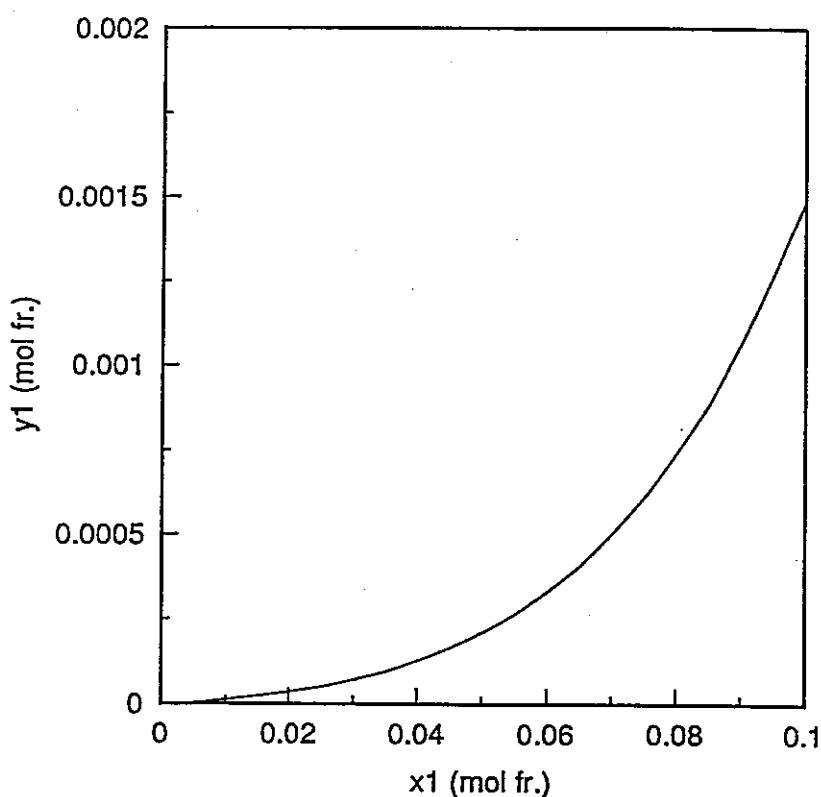


図-4.20 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値のx-y関係図（温度：20°C）

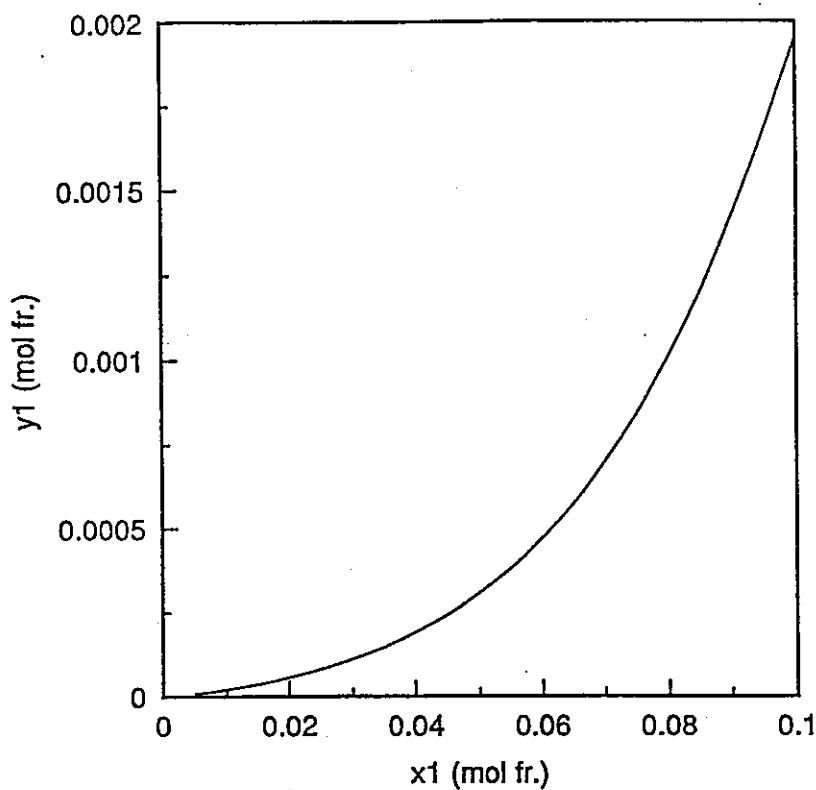


図-4.21 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値のx-y関係図（温度：30°C）

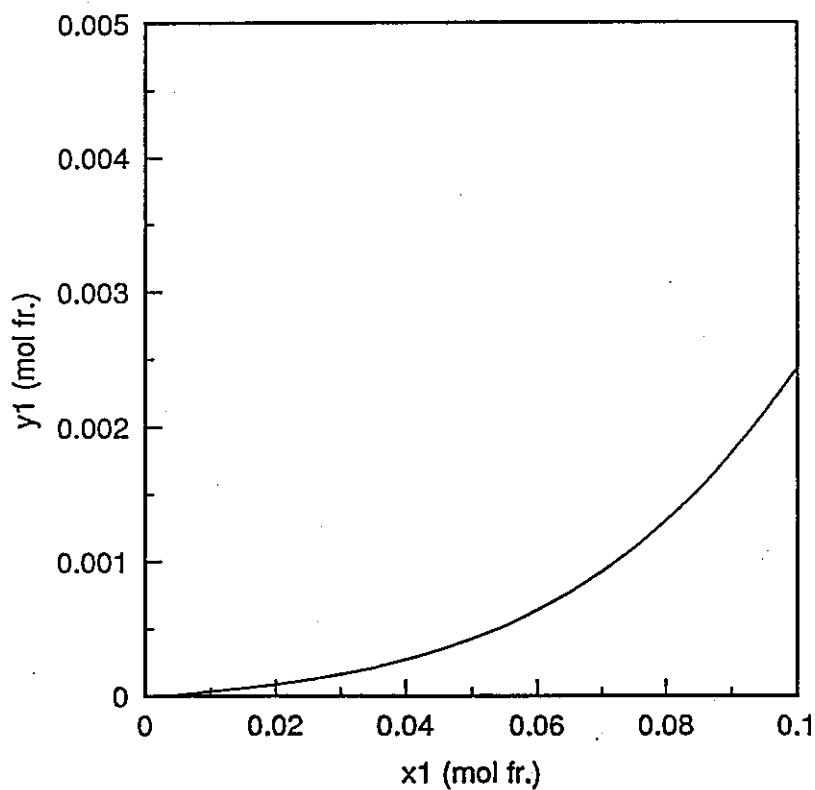


図-4.22 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値のx-y関係図（温度：40°C）

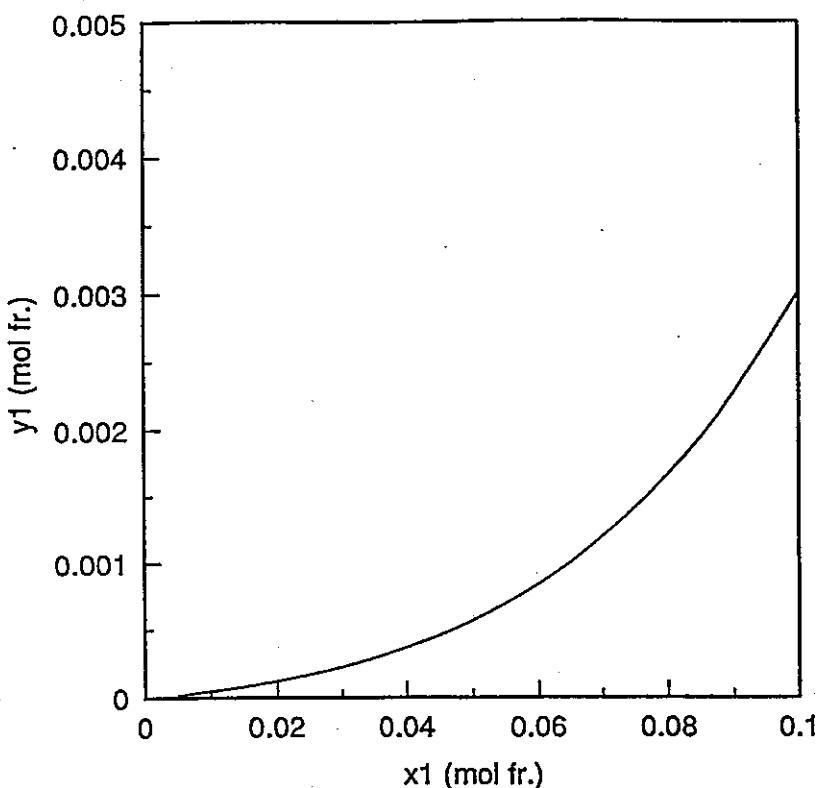


図-4.23 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値のx-y関係図（温度：50°C）

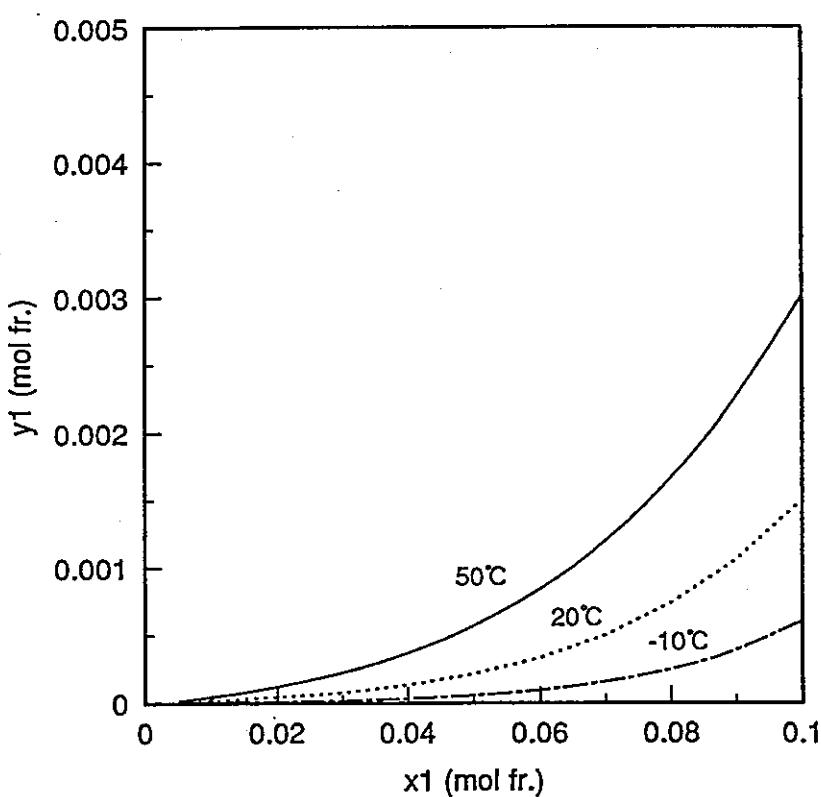


図-4.24 硝酸／水系の低濃度領域での定温気液平衡計算値のx-y関係図（温度：10, 20, 50°C）

5. 参考文献

- 1) 大内 仁, 根本 剛, 近藤 真, 高橋 芳晴, 鈴木 徹, 岡田 尚, "LOTUSプロセス技術開発", PNC I8410 89-025 (1989)
- 2) 近藤 真, 川崎 猛, "凍結真空乾燥法による廃液処理技術開発", 動燃技報, vol. 61, 76 (1987)
- 3) 近藤 真, 川崎 猛, "凍結真空乾燥法による廃液処理技術開発(Ⅱ)", 動燃技報, vol. 65, 102 (1988)
- 4) G. L. Wilson and F. D. Miles, "The Partial Pressures of Nitric Acid-Water Mixtures from 0°C~20°C", Trans. Faraday Soc., vol. 36, 356 (1940)
- 5) R. Vandoni and M. Laudy, J. Chim. phys. vol. 49, 98 (1952)
- 6) R. Flatt and F. Benguerel, "Sur l'équilibre liquide-vapeur du système binaire $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$ à 25°", Helv. Chim. Acta., vol. 45, 1765 (1962)
- 7) S. R. M. Ellis and J. M. Thwaites, "VAPOUR-LIQUID EQUILIBRIA OF NITRIC ACID-WATER-SULPHURIC ACID MIXTURES", J. appl. Chem., vol. 7, 152 (1957)
- 8) T. Boublík und K. Kuchynka, "GLEICHGEWICHT FLÜSSIGKEIT-DAMPF XXII, ABHÄNGIGKEIT DER ZUSAMMENSETZUNG DES AZEOTROPISCHEN GEMISCHES DES SYSTEMS SALPETERSÄURE-WASSER VOM DRUCK", Collection Czechoslov. Chem. Commun., vol. 25, 579 (1960)