

J A E R I - M
93-031

溶液燃料の臨界パラメータに対する
密度式の影響評価

1993年3月

三好 慶典・広瀬 秀幸・阿見 則男・桜井 聡

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し込みください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1993

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 ニッセイエプロ株式会社

溶液燃料の臨界パラメータに対する密度式の影響評価

日本原子力研究所東海研究所燃料安全工学部

三好 慶典・広瀬 秀幸・阿見 則男

桜井 聡

(1993年1月28日受理)

硝酸ウラニル、硝酸プルトニウム等の溶液燃料に対して新たに提案された溶液密度式(SST式)を用いて、中性子無限増倍率、臨界バックリング等基本的な臨界パラメータの解析を行った。ここでは、Burgerの式及びMaimoniの式に基づく従来の密度式を用いた場合と比較することにより、硝酸水溶液系の溶液密度式が臨界計算へ与える影響について評価した。

Evaluation of Effect of Solution-density
Formula on Criticality Parameters

Yoshinori MIYOSHI, Hideyuki HIROSE, Norio AMI
and Satoshi SAKURAI

Department of Fuel Safety Research
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 28, 1993)

Calculations of the criticality parameters have been performed for solution fuels such as uranyl nitrate, plutonium nitrate and their mixture by use of a newly proposed formula (SST formula) of the solution density. By comparison of the calculated infinite multiplication factor and critical buckling using SST formula with those by the present formula based on Maimoni's and Burger's, the effect of the density formula for nitrate solution on the criticality calculation were studied.

Keywords: Nuclear Criticality, Formula for Solution Density,
Criticality Parameters, Infinite Multiplication Factor,
Critical Buckling, Uranium, Plutonium, Nitrate Solution,
Acid Molarity

目 次

1. 序 論	1
2. 計算方法	1
2.1 密度式	1
2.2 臨界計算	2
3. 計算結果	3
3.1 硝酸ウラニル水溶液	3
3.2 硝酸プルトニウム水溶液	3
3.3 硝酸ウラニル・硝酸プルトニウム混合水溶液	4
4. 結 び	5
参考文献	6

Contents

1. Introduction	1
2. Calculation Method	1
2.1 Formula for Solution Density	1
2.2 Criticality Calculation	2
3. Calculation Results	3
3.1 Uranyl Nitrate	3
3.2 Plutonium Nitrate	3
3.3 Mixture of Uranyl Nitrate and Plutonium Nitrate	4
4. Conclusive Remarks	5
References	6

1. 序 論

ウラン及びプルトニウムを含む硝酸溶液燃料の臨界計算を行う場合、溶液中のウラン・プルトニウム濃度、硝酸濃度、及び温度から溶液燃料の密度を求め、構成核種の原子個数密度を計算する必要がある。ここで用いる溶液の密度式としては、これまで、硝酸ウラニル水溶液、及び硝酸プルトニウム水溶液については、Burger の式及び Maimoni の式^{1), 2)}が各々用いられている。また、U/Pu 混合水溶液については両密度式を併用した式 (LMT 式) が提案され³⁾ 臨界ハンドブックに記載されている。また、硝酸水溶液系燃料に関する基本的な臨界パラメータの検討結果についてはいくつかの報告がなされている⁴⁾。しかし、その後溶液密度に関する新たな測定値を考慮した密度式 (SST 式) が原研で提案されその有効性が評価されている⁵⁾。従って、本報では、溶液燃料体系の臨界安全設計評価の基礎的なデータとして、臨界計算において従来用いられている LMT 式と新たに提案された SST 式を用いて、中性子無限増倍率及び臨界バックリング等の臨界パラメータの評価を行い、臨界安全評価に対する密度式の影響を検討した。

2. 計 算 方 法

2.1 密度式

(1) 現密度式 (LMT 式)

$$\rho = R_U \cdot \rho_{U-Pu} + R_{Pu} \cdot \rho_{Pu-U} - R_U \cdot C_{Pu} (1.50 \times 10^{-3} / C_N - 3.05 \times 10^{-4}) \quad (2.1.1)$$

ここで、

$$R_U = C_U / (C_U + C_{Pu})$$

$$R_{Pu} = C_{Pu} / (C_U + C_{Pu})$$

C_U : 溶液中のウラン濃度 (g/l)

C_{Pu} : 溶液中のプルトニウム濃度 (g/l)

C_N : 溶液中の全硝酸イオン濃度 (mol/l)

ρ_{U-Pu} : 溶液中のウランとプルトニウムを全てウランとし、次の Burger の式から計算される密度

$$\rho_{25} = 1.0171 + 1.2944 \times 10^{-3} \times C_U + 0.0289 \times C_{Pu} \quad (2.1.2)$$

$$\rho = 1.0125 \times \rho_{25} + 1.45 \times 10^{-4} \times T - 5.0 \times 10^{-4} \times \rho_{25} \times T - 3.6 \times 10^{-3} \quad (2.1.3)$$

1. 序 論

ウラン及びプルトニウムを含む硝酸溶液燃料の臨界計算を行う場合、溶液中のウラン・プルトニウム濃度、硝酸濃度、及び温度から溶液燃料の密度を求め、構成核種の原子個数密度を計算する必要がある。ここで用いる溶液の密度式としては、これまで、硝酸ウラニル水溶液、及び硝酸プルトニウム水溶液については、Burger の式及び Maimoni の式^{1), 2)}が各々用いられている。また、U/Pu 混合水溶液については両密度式を併用した式 (LMT 式) が提案され³⁾ 臨界ハンドブックに記載されている。また、硝酸水溶液系燃料に関する基本的な臨界パラメータの検討結果についてはいくつかの報告がなされている⁴⁾。しかし、その後溶液密度に関する新たな測定値を考慮した密度式 (SST 式) が原研で提案されその有効性が評価されている⁵⁾。従って、本報では、溶液燃料体系の臨界安全設計評価の基礎的なデータとして、臨界計算において従来用いられている LMT 式と新たに提案された SST 式を用いて、中性子無限増倍率及び臨界バックリング等の臨界パラメータの評価を行い、臨界安全評価に対する密度式の影響を検討した。

2. 計 算 方 法

2.1 密度式

(1) 現密度式 (LMT 式)

$$\rho = R_U \cdot \rho_{U-Pu} + R_{Pu} \cdot \rho_{Pu-U} - R_U \cdot C_{Pu} (1.50 \times 10^{-3} / C_N - 3.05 \times 10^{-4}) \quad (2.1.1)$$

ここで、

$$R_U = C_U / (C_U + C_{Pu})$$

$$R_{Pu} = C_{Pu} / (C_U + C_{Pu})$$

C_U : 溶液中のウラン濃度 (g/l)

C_{Pu} : 溶液中のプルトニウム濃度 (g/l)

C_N : 溶液中の全硝酸イオン濃度 (mol/l)

ρ_{U-Pu} : 溶液中のウランとプルトニウムを全てウランとし、次の Burger の式から計算される密度

$$\rho_{25} = 1.0171 + 1.2944 \times 10^{-3} \times C_U + 0.0289 \times C_{Pu} \quad (2.1.2)$$

$$\rho = 1.0125 \times \rho_{25} + 1.45 \times 10^{-4} \times T - 5.0 \times 10^{-4} \times \rho_{25} \times T - 3.6 \times 10^{-3} \quad (2.1.3)$$

$\rho_{\text{Pu-U}}$: 溶液中のウランとプルトニウムを全てプルトニウムとし、次のMaimoniの式から計算される密度

$$\begin{aligned} \rho = & 0.99708 + 1.65625 \times 10^{-3} \times C_{\text{Pu}} + 3.2959 \times 10^{-2} \times C_{\text{HN}} \\ & - 5.9915 \times 10^{-4} \times (T-25) - 4.8706 \times 10^{-5} \times C_{\text{Pu}} \times C_{\text{HN}} \\ & - 1.4217 \times 10^{-6} \times C_{\text{Pu}} \times (T-25) - 3.418 \times 10^{-8} \times C_{\text{Pu}}^2 \end{aligned} \quad (2.1.4)$$

(2) 新密度式 (SST式)

$$\begin{aligned} \rho = & 0.99833 + 1.6903 \times 10^{-3} \times C_{\text{Pu}} + 1.4276 \times 10^{-3} \times C_{\text{U}} \\ & + 3.9956 \times 10^{-2} \times C_{\text{HN}} - 8.696 \times 10^{-8} \times C_{\text{Pu}}^2 - 1.087 \times 10^{-7} \times C_{\text{U}}^2 \\ & - 8.513 \times 10^{-4} \times C_{\text{HN}}^2 - 5.442 \times 10^{-6} \times T^2 - 4.4889 \times 10^{-5} \times C_{\text{Pu}} \times C_{\text{HN}} \\ & - 1.310 \times 10^{-6} \times C_{\text{Pu}} \times T - 1.564 \times 10^{-5} \times C_{\text{U}} \times C_{\text{HN}} \\ & - 9.487 \times 10^{-7} \times C_{\text{U}} \times T - 8.684 \times 10^{-5} \times C_{\text{HN}} \times T \end{aligned} \quad (2.1.5)$$

ここで、

C_{HN} : 溶液中の硝酸濃度 (mol/l)

T : 温度 (°C)

2.2. 臨界計算

硝酸ウラニル水溶液、硝酸プルトニウム水溶液、及び硝酸ウラニル・硝酸プルトニウム混合水溶液に対して、臨界性を検討する際の基本的なパラメータである中性子無限増倍率 K_{∞} 、及び臨界バックリング Bc^2 を評価した。硝酸ウラニルまたは硝酸プルトニウムのように燃料核種が一つの溶液燃料に関しては、燃料濃度に対する基本パラメータの変化を検討し、混合水溶液燃料に関しては、主にプルトニウム富化度を変化させて計算を行った。また、臨界安全設計では、燃料取扱設備の工程において溶液燃料の硝酸濃度を担保条件としない場合、溶液燃料の硝酸濃度 C_{HN} が 0 mol/l であることを安全側の仮定として用いる。従って典型的なケースについて、水反射体のある球体系の臨界直径を臨界バックリングから評価し、有限体系の寸法制限値等への影響を検討した。

(1) 計算コード

中性子無限増倍率 K_{∞} 及び臨界バックリング Bc^2 の算出には、詳細計算コード JACS システム⁶⁾ による群定数を用いて1点近似の中性子減速方程式を解くSIMCRIを使用した⁷⁾。

計算コード : SIMCRI

中性子群定数 : MGCL-137群

核データファイル : ENDF/B-IV

また、水反射体付球体系の臨界半径 R_c は、臨界バックリング Bc^2 から (2.3.1) 式を用いて計算した。ここでは、両密度式により求まる臨界バックリングが、簡易評価法等において有限体系の臨界寸法にどの程度影響するかを調べる事が目的であるので、(2.3.1) 式の外挿距離 λ としては標準的な値である 6.5 cm を用いた。

$$R_c = \pi / (Bc^2)^{1/2} - \lambda \quad (2.3.1)$$

また、新密度式及び現密度式を各々用いた臨界半径の差 ΔR_c は、次式で与えられる。

$$\Delta R_c = \frac{\pi / (Bc^2)^{1/2}}{2 \{ \pi / (Bc^2)^{1/2} - \lambda \}} \cdot \frac{\Delta Bc^2}{Bc^2} R_c \quad (2.3.2)$$

(2) 燃料条件

計算の対象とした燃料条件を表 2.3.1 に示す。

3. 計算結果

3.1 硝酸ウラニル水溶液

硝酸ウラニル水溶液の溶液密度、原子個数比 (H/Fissile)、中性子無限増倍率、臨界バックリングを表 3.1.1 及び図 3.1.1 から図 3.1.5 に示す。

溶液密度は、臨界安全設計で多く用いられる C_{MK} が 0 mol/l の条件では、ウラン濃度が 300 g/l より低い範囲では現密度式が、またそれ以上の濃度では新密度式の方が高く評価している (図 3.1.1)。密度が高いと溶液中の水 (H_2O) の重量比が増加するので、原子個数比 (H/Fissile) は増加する傾向を示す (図 3.1.2)。

今回計算した濃度範囲は、低濃縮ウラン硝酸ウラニル水溶液の最適減速濃度よりも低く過減速であるので、溶液密度が高い場合に中性子無限増倍率は低くなっている。また、硝酸ウラニル溶液 (濃縮度 6%) では、最適濃度以下の範囲で中性子無限増倍率はウラン濃度と共に単調に増加し、250 g/l より高い濃度範囲で臨界となり、それ以下では未臨界である (図 3.1.3)。表 3.1.1 から分るように臨界の可能性がある濃度範囲においては、新密度式と現密度式による中性子無限増倍率の相違は 0.1% 程度であり有意な差は認められない。

硝酸濃度が高くなると中性子無限増倍率は減少し、1 mol/l あたり約 1% 減少する。硝酸濃度が 6 mol/l の場合、ウラン濃度が高い範囲で新密度式による中性子無限増倍率が約 0.3% 大きくなっているが、燃料条件として溶解度を越えた範囲である。また、臨界設計で硝酸濃度を 0 mol/l として解析する限り問題とはならないと考えられる。尚、臨界になる 300 g/l 以上の濃度において、両密度式による臨界バックリングの相対誤差 ($\Delta Bc^2/Bc^2$) は 1% 以下であり、臨界半径に有意な違いは認められない (図 3.1.4, 図 3.1.5)。

3.2 硝酸プルトニウム水溶液

硝酸プルトニウム水溶液の溶液密度、原子個数比、中性子無限増倍率、及び臨界バックリングを表 3.2.1 に示す。

$$R_c = \pi / (Bc^2)^{1/2} - \lambda \quad (2.3.1)$$

また、新密度式及び現密度式を各々用いた臨界半径の差 ΔR_c は、次式で与えられる。

$$\Delta R_c = \frac{\pi / (Bc^2)^{1/2}}{2 \{ \pi / (Bc^2)^{1/2} - \lambda \}} \cdot \frac{\Delta Bc^2}{Bc^2} R_c \quad (2.3.2)$$

(2) 燃料条件

計算の対象とした燃料条件を表 2.3.1 に示す。

3. 計算結果

3.1 硝酸ウラニル水溶液

硝酸ウラニル水溶液の溶液密度、原子個数比 (H/Fissile)、中性子無限増倍率、臨界バックリングを表 3.1.1 及び図 3.1.1 から図 3.1.5 に示す。

溶液密度は、臨界安全設計で多く用いられる C_{HN} が 0 mol/l の条件では、ウラン濃度が 300 g/l より低い範囲では現密度式が、またそれ以上の濃度では新密度式の方が高く評価している (図 3.1.1)。密度が高いと溶液中の水 (H_2O) の重量比が増加するので、原子個数比 (H/Fissile) は増加する傾向を示す (図 3.1.2)。

今回計算した濃度範囲は、低濃縮ウラン硝酸ウラニル水溶液の最適減速濃度よりも低く過減速であるので、溶液密度が高い場合に中性子無限増倍率は低くなっている。また、硝酸ウラニル溶液 (濃縮度 6%) では、最適濃度以下の範囲で中性子無限増倍率はウラン濃度と共に単調に増加し、250 g/l より高い濃度範囲で臨界となり、それ以下では未臨界である (図 3.1.3)。表 3.1.1 から分るように臨界の可能性がある濃度範囲においては、新密度式と現密度式による中性子無限増倍率の相違は 0.1% 程度であり有意な差は認められない。

硝酸濃度が高くなると中性子無限増倍率は減少し、1 mol/l あたり約 1% 減少する。硝酸濃度が 6 mol/l の場合、ウラン濃度が高い範囲で新密度式による中性子無限増倍率が約 0.3% 大きくなっているが、燃料条件として溶解度を越えた範囲である。また、臨界設計で硝酸濃度を 0 mol/l として解析する限り問題とはならないと考えられる。尚、臨界になる 300 g/l 以上の濃度において、両密度式による臨界バックリングの相対誤差 ($\Delta Bc^2/Bc^2$) は 1% 以下であり、臨界半径に有意な違いは認められない (図 3.1.4, 図 3.1.5)。

3.2 硝酸プルトニウム水溶液

硝酸プルトニウム水溶液の溶液密度、原子個数比、中性子無限増倍率、及び臨界バックリングを表 3.2.1 に示す。

溶液密度について両密度式を比較すると、硝酸濃度が0 mol/l及び6 mol/lの場合、新密度式は現密度式に比べて溶液密度を低く評価し、また3 mol/lの場合は高く評価している。しかし、いずれの場合も両者による密度の差はわずかであり(約0.3%以下)硝酸濃度に対する依存性は小さい(図3.2.1)。現行のMaimoniによる密度式の基礎となっている溶液密度の測定値は、硝酸濃度が3 mol/l近傍であるので硝酸のない0 mol/lあるいは6 mol/lに対して、現密度式による値の信頼度は新密度式に比べて低いと考えられる。

原子個数比に関しては、原子個数密度の算出手順を考えると硝酸ウラニル水溶液と同様に、溶液密度が高いほど原子個数比は高くなる関係にある(図3.2.2)。

今回計算したプルトニウムの組成は ^{239}Pu が80%、 ^{240}Pu が20%であり、中性子無限増倍率は ^{239}Pu 100%の場合と異なり約120g/l附近に極値が現れている。従って、原子個数比の大小と中性子無限増倍率との関係は硝酸ウラニル水溶液の場合のように単純ではない。しかし、今回解析の対象とした500g/l以下の濃度範囲において、中性子無限増倍率の密度式による差は、-0.2%から+0.2%の範囲である(図3.2.3)。解析範囲は、硝酸濃度が約3 mol/lの条件で常温の溶解度の範囲と考えられるが、プルトニウム濃度に対する中性子無限増倍率特性に関して、両密度式の間に問題となるような系統的な差は現れていないと考えられる。

臨界バックリングの相対誤差は、高濃度の500g/lの時に最大3.2%であるが、臨界バックリングが最大(臨界半径が最小)となる120g/l付近の濃度における相対誤差は、1%以下である。また、硝酸濃度が0 mol/lの場合において、臨界半径は最大濃度(500g/l)で最も大きい相対誤差を示したが、(2.3.2)式によりバックリングの相対誤差($\Delta Bc^2/Bc^2$)の約1/2となり2.2%である。臨界安全設計において濃度制限を行わない条件での最小臨界直径は、現行の密度式及び新密度式のいずれの場合も21.4 cmと一致している(図3.2.4, 図3.2.5)。

3.3 硝酸ウラニル・硝酸プルトニウム混合水溶液

ウラン・プルトニウム混合硝酸水溶液の溶液密度、原子個数比、中性子無限増倍率、及び臨界バックリングを表3.3.1から表3.3.7に示す。

混合硝酸水溶液に関しては、臨界パラメータの濃度依存性及び富化度依存性を評価した。プルトニウム富化度が10%、30%、50%及び80%の混合硝酸溶液に関して、燃料濃度に対する溶液密度及び原子個数比の変化を図3.3.1から図3.3.8に示す。また、硝酸の無い0 mol/lの溶液については、富化度が30%、50%及び80%の場合、新密度式による溶液密度の方が現密度式に比べて高めの評価をしている。但し富化度が低い10%の場合には、ウラン系燃料の傾向が現れ、新密度式は低い濃度範囲で溶液密度を低めに評価し、高濃度範囲では逆に高めに評価している。(図3.3.1)

硝酸濃度が6 mol/lの溶液において特に高い濃度範囲で有意な差が現れているが、これは、現密度式の基礎データが300g/l以下の範囲に限られ、硝酸濃度として1 mol/l以下及び5 mol/l以上のデータが欠落しているためであると考えられる。従って、両密度式による溶液密度は、硝酸濃度が $1 < C_{\text{HN}} < 4.8$ で、燃料濃度が、300g/l付近で比較的良い一致が認められる。

燃料濃度が100g/l、300g/l及び500g/lの場合について、富化度に対する溶液密度の変

化を図 3.3.9 から図 3.3.14 に示す。図 3.3.9, 図 3.3.11, 図 3.3.13 から分るように、プルトニウム富化度に対する溶液密度の変化は、新密度式では燃料濃度が同一のウラン溶液及びプルトニウム溶液の密度を上限値または下限値として、単調に変化している。一方現密度式では、硝酸濃度が低い場合には極小値を、硝酸濃度が高い場合には極大値を示している。混合溶液の密度特性としては、新密度式の信頼性が高いと考えられ、ウラン・プルトニウム混合系についてより信頼度の高い計算結果を要求する場合には、新密度式を用いるのが合理的であると考えられる。これは、密度式のベースとなる測定値が、現密度式の場合には富化度 30% の燃料に限定されているのに対して、新密度式では、富化度に関して広い範囲のデータを使用しているからである。

臨界計算への影響を調べるために、各種の制限値を設定する際に採用されている硝酸濃度 0 mol/l の溶液燃料についてみると、中性子無限増倍率における両者の差（新密度式 - 現密度式）は臨界になる濃度範囲で -0.6% から +0.2% の範囲であった。プルトニウム富化度により違いはあるが、低い濃度範囲において新密度式の方が現密度式に比べて小さい中性子無限増倍率を与えている（図 3.3.15 - 図 3.3.17）。しかし、これは現密度式がより厳しい中性子増倍率を与えていることを意味し、中性子増倍率により未臨界判定を行う体系については、現行の式は安全側の評価になっている事を意味する。また、一定の推定臨界下限中性子増倍率に対応する制限値の設定に対しては、より厳しい結果（寸法制限の場合にはより小さい値）を与えていることになる。中性子無限増倍率における両者の差（新密度式 - 現密度式）が正のケースもあるが値としては 0.2% であり、臨界安全評価に用いるモンテカルロコードの分散を考慮すると、有意な差とする必要はないと考えられる。

遊離濃度 0 mol/l の溶液燃料の臨界バックリングを比較すると、図 3.3.18 に示すように、新密度式の方が現密度式に比べて、広い範囲で大きめの評価となり安全側である。ここでの両者の相対誤差は -3% から +3% の範囲にある。従って、球体系の臨界半径の相対誤差は 2% 以下であり制限寸法値の評価において問題はないと考えられる（図 3.3.18 - 図 3.3.20）。

4. 結 び

硝酸ウラニル及び硝酸プルトニウムを含む水溶液燃料について、臨界計算に用いる溶液密度式として現密度式（LMT式）と新密度式（SST式）の 2 種類を選び、臨界パラメータへの影響を検討した。

溶液密度の評価式としては、新たに提案された式がより高い信頼性を有しており、特に硝酸ウラニル・硝酸プルトニウム混合水溶液において合理的な結果を与えている。従って、溶液密度の計算においては、新密度式を用いることが望ましいと考えられる。しかし、無限円筒体系の臨界直径、無限平板体系の臨界厚さ、あるいは臨界制限直径及び臨界制限厚さ等の寸法評価においても、今回行った球体系の臨界半径への影響評価と同様に、現行の密度式による制限値に対して、新密度式の採用により有意な変化は無いと考えられる。

従って、臨界安全設計に対する影響という観点からは、中性子無限増倍率等の基本定数及び

化を図 3.3.9 から図 3.3.14 に示す。図 3.3.9, 図 3.3.11, 図 3.3.13 から分るように、プルトニウム富化度に対する溶液密度の変化は、新密度式では燃料濃度が同一のウラン溶液及びプルトニウム溶液の密度を上限値または下限値として、単調に変化している。一方現密度式では、硝酸濃度が低い場合には極小値を、硝酸濃度が高い場合には極大値を示している。混合溶液の密度特性としては、新密度式の信頼性が高いと考えられ、ウラン・プルトニウム混合系についてより信頼度の高い計算結果を要求する場合には、新密度式を用いるのが合理的であると考えられる。これは、密度式のベースとなる測定値が、現密度式の場合には富化度 30% の燃料に限定されているのに対して、新密度式では、富化度に関して広い範囲のデータを使用しているからである。

臨界計算への影響を調べるために、各種の制限値を設定する際に採用されている硝酸濃度 0 mol/l の溶液燃料についてみると、中性子無限増倍率における両者の差（新密度式 - 現密度式）は臨界になる濃度範囲で -0.6% から +0.2% の範囲であった。プルトニウム富化度により違いはあるが、低い濃度範囲において新密度式の方が現密度式に比べて小さい中性子無限増倍率を与えている（図 3.3.15 - 図 3.3.17）。しかし、これは現密度式がより厳しい中性子増倍率を与えていることを意味し、中性子増倍率により未臨界判定を行う体系については、現行の式は安全側の評価になっている事を意味する。また、一定の推定臨界下限中性子増倍率に対応する制限値の設定に対しては、より厳しい結果（寸法制限の場合にはより小さい値）を与えていることになる。中性子無限増倍率における両者の差（新密度式 - 現密度式）が正のケースもあるが値としては 0.2% であり、臨界安全評価に用いるモンテカルロコードの分散を考慮すると、有意な差とする必要はないと考えられる。

遊離濃度 0 mol/l の溶液燃料の臨界バックリングを比較すると、図 3.3.18 に示すように、新密度式の方が現密度式に比べて、広い範囲で大きめの評価となり安全側である。ここでの両者の相対誤差は -3% から +3% の範囲にある。従って、球体系の臨界半径の相対誤差は 2% 以下であり制限寸法値の評価において問題はないと考えられる（図 3.3.18 - 図 3.3.20）。

4. 結 び

硝酸ウラニル及び硝酸プルトニウムを含む水溶液燃料について、臨界計算に用いる溶液密度式として現密度式（LMT式）と新密度式（SST式）の 2 種類を選び、臨界パラメータへの影響を検討した。

溶液密度の評価式としては、新たに提案された式がより高い信頼性を有しており、特に硝酸ウラニル・硝酸プルトニウム混合水溶液において合理的な結果を与えている。従って、溶液密度の計算においては、新密度式を用いることが望ましいと考えられる。しかし、無限円筒体系の臨界直径、無限平板体系の臨界厚さ、あるいは臨界制限直径及び臨界制限厚さ等の寸法評価においても、今回行った球体系の臨界半径への影響評価と同様に、現行の密度式による制限値に対して、新密度式の採用により有意な変化は無いと考えられる。

従って、臨界安全設計に対する影響という観点からは、中性子無限増倍率等の基本定数及び

推定臨界下限増倍率あるいは推定臨界下限値等を早急に見直す必要性は高くないと考えられる。今回の解析で、モンテカルロ法による中性子実効増倍率の直接的な比較は行わず、臨界性の支配的な因子である中性子無限増倍率及び臨界バックリングにより評価したのは、密度式による影響を系統的に把握することに重点をおいたためである。

参 考 文 献

- (1) Maimoni, UCRL-52727 (1979)
- (2) Burger L. L, Rehn I. M., Schmidt H. R., and Slansky C. M., HW-11276 (1949)
- (3) 館盛勝一, 阿見則男, 三好慶典, “ウラン, プルトニウム溶液系の臨界計算・I (溶液密度と原子個数密度の考察)”, JAERI-M 83-047 (1983).
- (4) 三好慶典, 阿見則男, 館盛勝一, “ウラン-プルトニウム溶液系の臨界計算・II (硝酸溶液系の基本臨界パラメータの検討)”, JAERI-M 84-219 (1984).
- (5) 桜井聡, 館盛勝一: プルトニウム(IV)-ウラン(VI)-硝酸水溶液系の密度式の改良
JAERI-M 88-127 (1988).
- (6) Y. NAITO, S. TSURUTA, T. MATSUMURA, T. OHUCHI, “MGCL-PROCESSOR: A Computer Code System for Processing Multipgroup Constants Library MGCL”, JAERI-M 9396 (1981)
- (7) S. NAKAMARU, N. SUGAWARA, Y. NAITO, J. KATAKURA and H. OKUNO, “SIMCRI: A SIMPLE COMPUTER CODE FOR CALCULATING NUCLEAR CRITICALITY PARAMETERS”, JAERI-M 86-027 (1986).

推定臨界下限増倍率あるいは推定臨界下限値等を早急に見直す必要性は高くないと考えられる。今回の解析で、モンテカルロ法による中性子実効増倍率の直接的な比較は行わず、臨界性の支配的な因子である中性子無限増倍率及び臨界バックリングにより評価したのは、密度式による影響を系統的に把握することに重点をおいたためである。

参 考 文 献

- (1) Maimoni, UCRL-52727 (1979)
- (2) Burger L. L, Rehn I. M., Schmidt H. R., and Slansky C. M., HW-11276 (1949)
- (3) 館盛勝一, 阿見則男, 三好慶典, “ウラン, プルトニウム溶液系の臨界計算・I (溶液密度と原子個数密度の考察)”, JAERI-M 83-047 (1983).
- (4) 三好慶典, 阿見則男, 館盛勝一, “ウラン-プルトニウム溶液系の臨界計算・II (硝酸溶液系の基本臨界パラメータの検討)”, JAERI-M 84-219 (1984).
- (5) 桜井聡, 館盛勝一: プルトニウム(IV)-ウラン(VI) - 硝酸水溶液系の密度式の改良 JAERI-M 88-127 (1988).
- (6) Y. NAITO, S. TSURUTA, T. MATSUMURA, T. OHUCHI, “MGCL-PROCESSOR: A Computer Code System for Processing Multipgroup Constants Library MGCL”, JAERI-M 9396 (1981)
- (7) S. NAKAMARU, N. SUGAWARA, Y. NAITO, J. KATAKURA and H. OKUNO, “SIMCRI: A SIMPLE COMPUTER CODE FOR CALCULATING NUCLEAR CRITICALITY PARAMETERS”, JAERI-M 86-027 (1986).

表2.3.1 燃料条件

種類	燃料濃度 (g/l)	硝酸濃度 (mol/l)	富化度 (%)	温度 (°C)
硝酸ウラニル水溶液 (^{235}U 6%)	50-500	0,3,6	---	25
硝酸プルトニウム水溶液 ^{239}Pu (80%)+ ^{240}Pu (20%)	10-500	0,3,6	---	25
硝酸ウラニル・硝酸プルト ニウム混合水溶液 (Pu+ 天然ウラン) ^{239}Pu (80%)+ ^{240}Pu (20%)	10-500	0,3,6	10-90 (100,300, 500 g/l)	25

表 3. 1. 1 硝酸溶液燃料の臨界計算に対する密度式の効果
(硝酸ウラニル溶液：濃縮度 6%)

燃料温度 (g/l)	酸性度 (mol/l)	溶液密度 ρ (g/cc)		原子価数比(H/Fissile)		無限増倍率 K _∞		臨界 Buckling B _c ² (cm ⁻²)	
		新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新密度式	現密度式
50.0	0	1.0649	1.0820	8542.2	8690.9	0.374	0.369	---	---
100.0		1.1342	1.1489	4212.9	4267.6	0.615	0.610	---	---
150.0		1.2031	1.2118	2768.2	2793.1	0.782	0.778	---	---
200.0		1.2714	1.2766	2044.7	2055.9	0.904	0.901	---	---
250.0		1.3391	1.3415	1609.6	1613.6	0.998	0.996	---	---
300.0		1.4063	1.4064	1318.8*	1318.7	1.068	1.068	2.001x10 ⁻³	2.009x10 ⁻³
350.0		1.4730*	1.4713	1110.4*	1108.1	1.125	1.126	3.703x10 ⁻³	3.705x10 ⁻³
400.0		1.5391*	1.5362	953.5*	950.2	1.172	1.173	5.080x10 ⁻³	5.059x10 ⁻³
450.0		1.6047*	1.6011	830.9*	827.3	1.210	1.211	6.132x10 ⁻³	6.119x10 ⁻³
500.0		1.6697*	1.6661	732.4*	729.0	1.241	1.242	6.988x10 ⁻³	6.963x10 ⁻³
50.0	3	1.1682	1.1688	8031.9	8037.3	0.346	0.346	---	---
100.0		1.2352*	1.2337	3947.5*	3940.8	0.577	0.577	---	---
150.0		1.3017*	1.2986	2584.5*	2575.3	0.740	0.741	---	---
200.0		1.3677*	1.3635	1901.8*	1892.6	0.861	0.862	---	---
250.0		1.4331*	1.4284	1491.2*	1482.9	0.954	0.955	---	---
300.0		1.4979*	1.4933	1216.7*	1209.8	1.027	1.029	7.483x10 ⁻⁴	7.856x10 ⁻⁴
350.0		1.5622*	1.5582	1020.0*	1014.8	1.086	1.087	2.366x10 ⁻³	2.382x10 ⁻³
400.0		1.6260*	1.6231	871.8*	868.5	1.133	1.134	3.647x10 ⁻³	3.643x10 ⁻³
450.0		1.6892*	1.6880	766.1*	754.7	1.173	1.173	4.656x10 ⁻³	4.652x10 ⁻³
500.0		1.7519	1.7529	663.0	663.7	1.205	1.205	5.435x10 ⁻³	5.446x10 ⁻³
50.0	6	1.2582*	1.2557	7388.3*	7383.7	0.325	0.326	---	---
100.0		1.3209*	1.3206	3815.5*	3814.0	0.547	0.547	---	---
150.0		1.3851	1.3855	2356.3	2357.4	0.706	0.706	---	---
200.0		1.4487	1.4504	1725.6	1729.2	0.826	0.826	---	---
250.0		1.5117	1.5153	1346.2	1352.2	0.919	0.918	---	---
300.0		1.5742	1.5802	1032.4	1100.9	0.992	0.991	---	---
350.0		1.6362	1.6451	910.5	921.4	1.052	1.049	1.279x10 ⁻³	1.240x10 ⁻³
400.0		1.6976	1.7100	773.5	786.8	1.100	1.097	2.422x10 ⁻³	2.408x10 ⁻³
450.0		1.7585	1.7749	666.4	682.1	1.139	1.136	3.322x10 ⁻³	3.350x10 ⁻³
500.0		1.8188	1.8398	580.3	598.3	1.172	1.168	3.999x10 ⁻³	4.083x10 ⁻³

*現密度式に比較して大きいケース

表 3.2.1 硝酸溶液燃料の臨界計算に対する密度式の効果
(硝酸プルウトニウム溶液 : ²³⁹Pu 80% + ²⁴⁰Pu 20%)

燃料濃度 (g/l)	酸濃度 (mol/l)	溶液密度 ρ (g/cc)		原子個数比(H/Fissile)		無限増倍率 K _∞		臨界 Buckling B _c ² (cm ⁻²)	
		新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新密度式	現密度式
10.0	0	1.0115	1.0136	3287.9	3295.0	0.987	0.986	---	---
30.0		1.0446	1.0467	1087.5	1089.9	1.384	1.383	1.252x10 ⁻²	1.257x10 ⁻²
50.0		1.0776	1.0798	647.4	648.9	1.475	1.474	1.591x10 ⁻²	1.597x10 ⁻²
80.0		1.1270	1.1294	399.7	400.8	1.505	1.505	1.728x10 ⁻²	1.736x10 ⁻²
100.0		1.1598	1.1624	317.2	318.0	1.505	1.506	1.741x10 ⁻²	1.750x10 ⁻²
120.0		1.1926	1.1953	262.1	262.9	1.500	1.500	1.730x10 ⁻²	1.740x10 ⁻²
150.0		1.2416	1.2447	207.0	207.7	1.488	1.488	1.695x10 ⁻²	1.707x10 ⁻²
200.0		1.3230	1.3270	151.9	152.5	1.466	1.466	1.622x10 ⁻²	1.637x10 ⁻²
300.0		1.4844	1.4909	96.5	97.3	1.431	1.431	1.488x10 ⁻²	1.511x10 ⁻²
500.0		1.8020	1.8167	52.0	53.0	1.395	1.396	1.313x10 ⁻²	1.357x10 ⁻²
10.0	3	1.1158	1.1111	3096.6	3080.7	0.942	0.944	---	---
30.0		1.1462	1.1412	1020.8	1015.2	1.350	1.351	1.096x10 ⁻²	1.088x10 ⁻²
50.0		1.1765	1.1714	605.5	602.1	1.447	1.448	1.427x10 ⁻²	1.414x10 ⁻²
80.0		1.2219	1.2165	371.9	369.7	1.482	1.482	1.554x10 ⁻²	1.538x10 ⁻²
100.0		1.2520	1.2466	294.0	292.2	1.483	1.483	1.561x10 ⁻²	1.543x10 ⁻²
120.0		1.2821	1.2767	242.1	240.6	1.478	1.478	1.543x10 ⁻²	1.525x10 ⁻²
150.0		1.3271	1.3217	190.1	188.9	1.467	1.467	1.499x10 ⁻²	1.481x10 ⁻²
200.0		1.4017	1.3966	138.0	137.2	1.446	1.445	1.412x10 ⁻²	1.396x10 ⁻²
300.0		1.5497	1.5459	85.9	85.5	1.411	1.411	1.253x10 ⁻²	1.243x10 ⁻²
500.0		1.8403	1.8425	43.8	43.9	1.382	1.382	1.044x10 ⁻²	1.050x10 ⁻²
10.0	6	1.2049	1.2085	2854.5	2866.4	0.908	0.906	---	---
30.0		1.2326	1.2357	937.1	940.6	1.320	1.319	9.289x10 ⁻³	9.332x10 ⁻³
50.0		1.2602	1.2629	553.5	555.4	1.421	1.420	1.235x10 ⁻²	1.242x10 ⁻²
80.0		1.3015	1.3037	337.7	338.7	1.458	1.458	1.342x10 ⁻²	1.349x10 ⁻²
100.0		1.3289	1.3309	265.8	266.5	1.459	1.459	1.340x10 ⁻²	1.346x10 ⁻²
120.0		1.3563	1.3580	217.8	218.3	1.455	1.455	1.316x10 ⁻²	1.321x10 ⁻²
150.0		1.3973	1.3987	169.8	170.1	1.443	1.443	1.263x10 ⁻²	1.443x10 ⁻²
200.0		1.4652	1.4663	121.7	121.9	1.422	1.422	1.166x10 ⁻²	1.170x10 ⁻²
300.0		1.5996	1.6010	73.5	73.6	1.389	1.389	9.960x10 ⁻³	1.000x10 ⁻²
500.0		1.8634	1.8663	34.5	34.9	1.369	1.369	7.778x10 ⁻³	7.890x10 ⁻³

*現密度式に比較して大きいケース

表 3.3.1 硝酸溶液燃料の臨界計算に対する密度式の効果
 (Pu/U 混合硝酸溶液 : Pu 富化度 10%, ²³⁹Pu 80% + ²⁴⁰Pu 20%, 天然 U)

燃料濃度 (g/l)	酸性度 (mol/l)	溶液密度 ρ (g/cc)		原子個数比(H/Fissile)		無限増倍率 K _∞			臨界 Buckling Bc ² (cm ⁻²)	
		新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新-現(%)	新密度式	現密度式
10.0		1.0092	1.0141	30412.4	30561.0	0.198	0.197	0.1	---	---
30.0		1.0377	1.0412	10082.7	10118.0	0.484	0.483	0.1	---	---
50.0		1.0662	1.0684	6018.3	6029.8	0.879	0.878	0.1	---	---
80.0		1.1087	1.1091	3728.5	3730.0	0.874	0.874	0.0	---	---
100.0	0	1.1370	1.1363	2965.6	2963.4	0.965	0.965	0.0	---	---
120.0		1.1652	1.1634	2456.8	2452.4	1.035	1.035	0.0	1.055x10 ⁻³	1.077x10 ⁻³
150.0		1.2073	1.2041	1947.8	1941.3	1.113	1.114	-0.1	3.523x10 ⁻³	3.520x10 ⁻³
200.0		1.2772	1.2720	1438.2	1430.2	1.200	1.202	-0.2	6.300x10 ⁻³	6.280x10 ⁻³
300.0		1.4157	1.4076	927.3	919.0	1.287	1.289	-0.2	9.390x10 ⁻³	9.011x10 ⁻³
500.0		1.6873	1.6787	515.2	510.0	1.332	1.333	-0.1	1.031x10 ⁻²	1.014x10 ⁻²
10.0		1.1144	1.1160	28669.0	28720.0	0.182	0.182	0.0	---	---
30.0		1.1418	1.1421	9490.2	9493.5	0.452	0.452	0.0	---	---
50.0		1.1691*	1.1682	5654.0*	5648.8	0.640	0.640	0.0	---	---
80.0		1.2099*	1.2076	3495.6*	3486.6	0.833	0.833	0.0	---	---
100.0	3	1.2371*	1.2339	2775.9*	2766.1	0.923	0.924	-0.1	---	---
120.0		1.2642*	1.2602	2296.0*	2285.9	0.994	0.996	-0.2	2.211x10 ⁻³	2.228x10 ⁻³
150.0		1.3047*	1.2998	1815.6*	1805.8	1.075	1.076	-0.1	4.882x10 ⁻³	4.876x10 ⁻³
200.0		1.3718*	1.3660	1334.8*	1326.0	1.164	1.166	-0.2	7.553x10 ⁻³	7.476x10 ⁻³
300.0		1.5047*	1.4987	852.7*	846.6	1.256	1.256	0.0	8.486x10 ⁻³	8.485x10 ⁻³
500.0		1.7652*	1.7650	463.6	463.6	1.302	1.302	0.0	---	---
10.0		1.2042*	1.2040	26456.0*	26451.0	0.171	0.171	0.0	---	---
30.0		1.2305*	1.2301	8741.2*	8738.1	0.428	0.428	0.0	---	---
50.0		1.2567*	1.2563	5197.8*	5195.6	0.611	0.611	0.0	---	---
80.0		1.2859*	1.2856	3204.1*	3203.2	0.800	0.800	0.0	---	---
100.0		1.3219*	1.3218	2539.3*	2539.1	0.890	0.890	0.0	---	---
120.0	6	1.3479	1.3481	2095.8	2098.4	0.961	0.961	0.0	1.151x10 ⁻³	1.148x10 ⁻³
150.0		1.3867	1.3874	1652.2	1653.8	1.042	1.042	0.0	3.600x10 ⁻³	3.605x10 ⁻³
200.0		1.4510	1.4531	1208.0	1211.2	1.133	1.131	0.2	5.966x10 ⁻³	6.033x10 ⁻³
300.0		1.5784	1.5846	782.4	788.8	1.225	1.225	0.0	6.641x10 ⁻³	6.891x10 ⁻³
500.0		1.8277	1.8481	402.6	415.2	1.270	1.271	-0.1	---	---

*現密度式に比較して大きいケース

表 3.3.2 硝酸溶液燃料の臨界計算における密度式による比較
(Pu/U 混合硝酸溶液: Pu 富化度 30%, ²³⁹Pu 80% + ²⁴⁰Pu 20%, 天然 U)

燃料濃度 (g/l)	酸性度 (mol/l)	溶液密度 ρ (g/cc)		原子個数比(H/Fissile)		無限増倍率 K _∞			臨界 Buckling Bc ² (cm ⁻²)	
		新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新-現(%)	新密度式	現密度式
10.0		1.0097*	0.9969	10740.4*	10601.0	0.487	0.482	-0.4	---	---
30.0		1.0393*	1.0262	3559.0*	3511.8	0.933	0.939	-0.6	---	---
50.0		1.0688*	1.0555	2122.6*	2093.9	1.142	1.147	-0.5	4.418x10 ⁻³	4.472x10 ⁻³
80.0		1.1129*	1.0995	1314.6*	1295.4	1.293	1.296	-0.3	9.407x10 ⁻³	9.287x10 ⁻³
100.0		1.1423*	1.1288	1045.1*	1030.5	1.345	1.348	-0.3	1.125x10 ⁻²	1.104x10 ⁻²
120.0	0	1.1716*	1.1581	865.5*	853.3	1.379	1.383	-0.2	1.244x10 ⁻²	1.218x10 ⁻²
150.0		1.2156*	1.2021	685.7*	678.0	1.407	1.409	-0.2	1.349x10 ⁻²	1.318x10 ⁻²
200.0		1.2885*	1.2752	505.9*	498.7	1.426	1.426	0.0	1.423x10 ⁻²	1.387x10 ⁻²
300.0		1.4334*	1.4215	325.7*	321.4	1.421	1.420	-0.1	1.411x10 ⁻²	1.376x10 ⁻²
600.0		1.7196*	1.7133	180.7*	179.4	1.374	1.373	0.1	1.227x10 ⁻²	1.209x10 ⁻²
10.0		1.1147	1.1147	10120.0	10122.0	0.446	0.446	0.0	---	---
30.0		1.1428*	1.1413	3347.8*	3342.5	0.890	0.890	0.0	---	---
50.0		1.1708*	1.1681	1992.7*	1987.0	1.100	1.101	-0.1	3.007x10 ⁻³	3.018x10 ⁻³
80.0		1.2128*	1.2087	1230.4*	1225.0	1.256	1.257	-0.1	7.890x10 ⁻³	7.857x10 ⁻³
100.0		1.2407*	1.2360	976.2*	971.1	1.312	1.313	-0.1	9.675x10 ⁻³	9.610x10 ⁻³
120.0	3	1.2686*	1.2633	806.7*	802.0	1.347	1.348	-0.1	1.081x10 ⁻²	1.072x10 ⁻²
150.0		1.3103*	1.3045	637.2*	633.0	1.378	1.378	0.0	1.181x10 ⁻²	1.169x10 ⁻²
200.0		1.3795*	1.3735	467.5*	464.2	1.399	1.399	0.0	1.264x10 ⁻²	1.231x10 ⁻²
300.0		1.5172*	1.5124	297.4*	295.8	1.395	1.395	0.0	1.217x10 ⁻²	1.204x10 ⁻²
500.0		1.7887	1.7919	160.6	161.3	1.346	1.346	0.0	1.007x10 ⁻²	1.015x10 ⁻²
10.0		1.2043	1.2051	9339.0	9347.1	0.422	0.422	0.0	---	---
30.0		1.2309	1.2317	3081.3	3084.0	0.856	0.855	0.1	---	---
50.0		1.2575	1.2583	1829.7	1831.5	1.066	1.066	0.0	1.856x10 ⁻³	1.852x10 ⁻³
80.0		1.2973	1.2984	1125.5	1127.1	1.225	1.224	0.1	6.387x10 ⁻³	6.398x10 ⁻³
100.0		1.3237	1.3252	890.7	892.3	1.281	1.281	0.0	8.027x10 ⁻³	8.037x10 ⁻³
120.0	6	1.3501	1.3520	734.1	735.9	1.318	1.317	0.1	9.054x10 ⁻³	9.085x10 ⁻³
150.0		1.3896	1.3923	677.5	679.4	1.349	1.349	0.0	9.934x10 ⁻³	9.987x10 ⁻³
200.0		1.4553	1.4596	420.7	423.1	1.371	1.371	0.0	1.043x10 ⁻²	1.053x10 ⁻²
300.0		1.5855	1.5945	263.6	266.9	1.366	1.367	-0.1	9.938x10 ⁻³	1.017x10 ⁻²
500.0		1.8425	1.8652	137.2	142.1	1.312	1.317	-0.5	7.670x10 ⁻³	8.212x10 ⁻³

*現密度式に比較して大きいケース

表 3.3.3 硝酸溶液燃料の臨界計算に対する密度式の効果
(Pu/U 混合硝酸溶液 : Pu 富化度 50%, ²³⁹Pu 80% + ²⁴⁰Pu 20%, 天然 U)

燃料濃度 (g/l)	酸性度 (mol/l)	溶液密度 ρ (g/cc)		原子個数比(H/Fissile)		無限増倍率 K [∞]		臨界 Buckling Bc ² (cm ⁻²)	
		新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新密度式	現密度式
10.0		1.0102*	0.9928	6520.5*	6405.5	0.677	0.684	---	---
30.0		1.0408*	1.0238	2159.6*	2122.3	1.151	1.157	4.698x10 ⁻³	4.744x10 ⁻³
50.0		1.0713*	1.0548	1287.3*	1265.6	1.319	1.324	1.031x10 ⁻²	1.012x10 ⁻²
80.0		1.1171*	1.1013	796.8*	783.7	1.417	1.420	1.381x10 ⁻²	1.346x10 ⁻²
100.0	0	1.1475*	1.1323	633.0*	623.0	1.444	1.445	1.484x10 ⁻²	1.444x10 ⁻²
120.0		1.1779*	1.1632	524.0*	515.9	1.457	1.457	1.515x10 ⁻²	1.496x10 ⁻²
150.0		1.1223*	1.2096	414.8*	408.8	1.462	1.462	1.567x10 ⁻²	1.525x10 ⁻²
200.0		1.2391*	1.2869	305.7*	301.7	1.454	1.454	1.552x10 ⁻²	1.513x10 ⁻²
300.0		1.4497*	1.4413	196.3*	194.5	1.423	1.423	1.446x10 ⁻²	1.312x10 ⁻²
500.0		1.7481	1.7489	108.5*	108.6	1.362	1.362	1.214x10 ⁻²	1.217x10 ⁻²
10.0		1.1150*	1.1135	6144.3*	6134.0	0.637	0.638	---	---
30.0		1.1438*	1.1409	2030.2*	2023.9	1.109	1.110	3.279x10 ⁻³	3.291x10 ⁻³
50.0		1.1725*	1.1686	1207.3*	1202.2	1.283	1.284	8.756x10 ⁻³	8.718x10 ⁻³
80.0		1.2155*	1.2106	744.4*	740.4	1.387	1.387	1.219x10 ⁻²	1.209x10 ⁻²
100.0		1.2441*	1.2388	590.1*	586.6	1.415	1.416	1.317x10 ⁻²	1.304x10 ⁻²
120.0	3	1.2727*	1.2671	487.1*	484.1	1.430	1.430	1.366x10 ⁻²	1.351x10 ⁻²
150.0		1.3155*	1.3098	384.2*	381.7	1.436	1.436	1.388x10 ⁻²	1.372x10 ⁻²
200.0		1.3867*	1.3813	281.2*	279.5	1.430	1.430	1.363x10 ⁻²	1.347x10 ⁻²
300.0		1.5282*	1.5253	178.0*	177.4	1.398	1.399	1.239x10 ⁻²	1.230x10 ⁻²
500.0		1.8084*	1.8148	95.1	96.0	1.337	1.338	9.806x10 ⁻³	9.979x10 ⁻³
10.0		1.2045	1.2081	5667.2	5677.9	0.607	0.606	---	---
30.0		1.2314	1.2331	1867.2	1870.8	1.074	1.074	2.093x10 ⁻³	2.085x10 ⁻³
50.0		1.2583	1.2601	1107.2	1109.4	1.251	1.251	7.210x10 ⁻³	7.226x10 ⁻³
80.0		1.2986	1.3007	679.5	681.3	1.358	1.358	1.037x10 ⁻²	1.041x10 ⁻²
100.0		1.3254	1.3279	537.0	538.8	1.388	1.388	1.124x10 ⁻²	1.129x10 ⁻²
120.0	6	1.3522	1.3551	441.9	443.5	1.403	1.403	1.164x10 ⁻²	1.171x10 ⁻²
150.0		1.3923	1.3960	346.8	348.5	1.409	1.410	1.177x10 ⁻²	1.187x10 ⁻²
200.0		1.4589	1.4643	251.7	253.5	1.403	1.403	1.139x10 ⁻²	1.154x10 ⁻²
300.0		1.5913	1.6013	158.3	158.5	1.370	1.362	1.001x10 ⁻²	1.028x10 ⁻²
500.0		1.8533	1.8759	79.7	82.7	1.306	1.310	7.351x10 ⁻³	7.870x10 ⁻³

*現密度式に比較して大きいケース

表 3.3.4 硝酸溶液燃料の臨界計算に対する密度式の効果
(Pu/U混合硝酸溶液: Pu 富化度 80%, ²³⁹Pu 80% + ²⁴⁰Pu 20%, 天然U)

燃料濃度 (g/l)	酸性度 (mol/l)	溶液密度 ρ (g/cc)		原子個数比(H/Fissile)		無限増倍率 K _∞			臨界 Buckling Bc ² (cm ⁻²)	
		新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新-現(%)	新密度式	現密度式
10.0		1.0110*	1.0015	4101.6*	4082.2	0.886	0.890	-0.4	---	---
30.0		1.0431*	1.0341	1357.4*	1345.0	1.319	1.321	-0.2	1.029x10 ⁻³	1.019x10 ⁻²
50.0		1.0751*	1.0667	808.5*	801.6	1.435	1.437	-0.2	1.443x10 ⁻²	1.424x10 ⁻²
80.0		1.1231*	1.1156	499.7*	495.8	1.485	1.485	0.0	1.642x10 ⁻²	1.619x10 ⁻²
100.0		1.1550*	1.1482	386.7*	383.9	1.491	1.491	0.0	1.678x10 ⁻²	1.655x10 ⁻²
120.0	0	1.1869*	1.1807	328.1*	326.0	1.489	1.489	0.0	1.682x10 ⁻²	1.661x10 ⁻²
150.0		1.2346*	1.2295	259.4*	258.0	1.180	1.180	0.0	1.659x10 ⁻²	1.641x10 ⁻²
200.0		1.3139*	1.3106	190.7*	190.0	1.459	1.459	0.0	1.592x10 ⁻²	1.581x10 ⁻²
300.0		1.4715*	1.4726	121.8	122.0	1.419	1.419	0.0	1.448x10 ⁻²	1.452x10 ⁻²
500.0		1.7833	1.7948	66.4	67.4	1.368	1.367	-0.1	1.231x10 ⁻²	1.265x10 ⁻²
10.0		1.1155*	1.1119	3863.8*	3848.9	0.842	0.843	-0.1	---	---
30.0		1.1453*	1.1409	1274.9*	1268.8	1.282	1.283	-0.1	8.742x10 ⁻³	8.690x10 ⁻³
50.0		1.1750*	1.1701	767.0*	763.0	1.405	1.406	-0.1	1.282x10 ⁻²	1.271x10 ⁻²
80.0		1.2194*	1.2141	465.7*	463.0	1.459	1.459	0.0	1.472x10 ⁻²	1.457x10 ⁻²
100.0		1.2490*	1.2435	368.6*	368.3	1.467	1.467	0.0	1.502x10 ⁻²	1.485x10 ⁻²
120.0	3	1.2785*	1.2730	303.8*	302.0	1.466	1.466	0.0	1.500x10 ⁻²	1.483x10 ⁻²
150.0		1.3227*	1.3175	239.0*	237.6	1.458	1.457	0.1	1.489x10 ⁻²	1.452x10 ⁻²
200.0		1.3962*	1.3916	174.2*	173.3	1.437	1.436	0.1	1.390x10 ⁻²	1.375x10 ⁻²
300.0		1.5421*	1.5403	109.2*	109.0	1.397	1.396	0.1	1.224x10 ⁻²	1.219x10 ⁻²
500.0		1.8305	1.8372	56.9	57.5	1.346	1.347	-0.1	9.803x10 ⁻³	9.981x10 ⁻³
10.0		1.2047	1.2076	3562.4	3574.3	0.808	0.807	0.1	---	---
30.0		1.2321	1.2348	1171.2	1174.9	1.260	1.250	0.0	7.209x10 ⁻³	7.230x10 ⁻³
50.0		1.2595	1.2621	692.9	695.1	1.377	1.377	0.0	1.100x10 ⁻²	1.105x10 ⁻²
80.0		1.3004	1.3030	423.8	425.2	1.433	1.433	0.0	1.269x10 ⁻²	1.276x10 ⁻²
100.0		1.3277	1.3304	334.1	335.3	1.442	1.442	0.0	1.289x10 ⁻²	1.297x10 ⁻²
120.0	6	1.3548	1.3578	274.3	275.3	1.441	1.441	0.0	1.280x10 ⁻²	1.289x10 ⁻²
150.0		1.3955	1.3988	214.4	215.2	1.432	1.433	-0.1	1.241x10 ⁻²	1.251x10 ⁻²
200.0		1.4631	1.4673	154.5	155.4	1.411	1.412	-0.1	1.152x10 ⁻²	1.165x10 ⁻²
300.0		1.5974	1.6043	94.5	95.5	1.371	1.372	-0.1	9.763x10 ⁻³	9.948x10 ⁻³
500.0		1.8623	1.8777	46.1	47.5	1.324	1.325	-0.1	7.277x10 ⁻³	7.609x10 ⁻³

*現密度式に比較して大きいケース

表 3.3.5 硝酸溶液燃料の臨界計算に対する密度式の効果
(Pu/U 混合硝酸溶液：燃料濃度 100 g/l, ²³⁹Pu 80% + ²⁴⁰Pu 20%, 天然U)

Pu 濃化度 (%)	酸性度 (mol/l)	溶液密度 ρ (g/cc)		原子個数比(H/Fissile)		無限増倍率 K [∞]		臨界 Buckling B _c ² (cm ⁻²)	
		新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新密度式	現密度式
0.0		1.1342	1.1468	35107.3	35562.0	0.103	0.102	---	---
10.0		1.1370*	1.1363	2965.6*	2963.4	0.965	0.965	---	---
20.0		1.1397*	1.1308	1546.5*	1532.2	1.228	1.230	7.140x10 ⁻³	7.178x10 ⁻³
30.0		1.1423*	1.1288	1045.1*	1030.5	1.345	1.348	1.124x10 ⁻²	1.106x10 ⁻²
40.0		1.1449*	1.1295	788.8*	766.2	1.408	1.410	1.348x10 ⁻²	1.314x10 ⁻²
50.0	0	1.1475*	1.1323	633.0*	623.0	1.444	1.445	1.484x10 ⁻²	1.444x10 ⁻²
60.0		1.1501*	1.1365	528.4*	521.0	1.466	1.467	1.573x10 ⁻²	1.533x10 ⁻²
70.0		1.1525*	1.1419	453.3*	448.3	1.481	1.481	1.634x10 ⁻²	1.601x10 ⁻²
80.0		1.1560*	1.1482	396.7*	393.9	1.493	1.491	1.687x10 ⁻²	1.656x10 ⁻²
90.0		1.1575*	1.1550	352.6*	351.7	1.499	1.499	1.712x10 ⁻²	1.704x10 ⁻²
100.0		1.1598	1.1624	317.2	318.0	1.505	1.506	1.741x10 ⁻²	1.750x10 ⁻²
0.0		1.2352*	1.2336	3289.0*	3288.0	0.095	0.095	---	---
10.0		1.2371*	1.2339	2775.9*	2766.1	0.923	0.924	---	---
20.0		1.2389*	1.2348	1446.1*	1439.6	1.190	1.191	5.752x10 ⁻³	5.747x10 ⁻³
30.0		1.2407*	1.2360	976.2*	971.1	1.312	1.313	9.405x10 ⁻³	9.601x10 ⁻³
40.0		1.2424*	1.2373	736.0*	731.8	1.377	1.378	1.165x10 ⁻²	1.175x10 ⁻²
50.0	3	1.2441*	1.2388	590.1*	586.6	1.415	1.416	1.317x10 ⁻²	1.304x10 ⁻²
60.0		1.2458*	1.2403	492.0*	489.0	1.440	1.440	1.402x10 ⁻²	1.387x10 ⁻²
70.0		1.2474*	1.2419	421.6*	419.0	1.456	1.456	1.460x10 ⁻²	1.444x10 ⁻²
80.0		1.2490*	1.2435	368.6*	366.3	1.467	1.467	1.502x10 ⁻²	1.485x10 ⁻²
90.0		1.2505*	1.2451	327.2*	325.3	1.476	1.476	1.534x10 ⁻²	1.517x10 ⁻²
100.0		1.2520*	1.2466	294.0*	292.2	1.483	1.483	1.561x10 ⁻²	1.543x10 ⁻²
0.0		1.3209*	1.3205	30129.0*	30115.0	0.089	0.089	---	---
10.0		1.3219*	1.3218	2539.3*	2539.1	0.890	0.890	---	---
20.0		1.3228	1.3236	1321.1	1322.3	1.157	1.157	4.400x10 ⁻³	4.412x10 ⁻³
30.0		1.3237	1.3252	890.7	892.3	1.281	1.281	8.026x10 ⁻³	8.045x10 ⁻³
40.0		1.3246	1.3266	670.6	672.3	1.348	1.348	1.003x10 ⁻²	1.008x10 ⁻²
50.0	6	1.3254	1.3279	537.0	538.6	1.388	1.388	1.124x10 ⁻²	1.129x10 ⁻²
60.0		1.3264	1.3289	447.2	448.7	1.413	1.413	1.201x10 ⁻²	1.208x10 ⁻²
70.0		1.3269	1.3298	382.7	384.0	1.430	1.430	1.253x10 ⁻²	1.261x10 ⁻²
80.0		1.3277	1.3304	334.1	335.3	1.442	1.442	1.289x10 ⁻²	1.297x10 ⁻²
90.0		1.3283	1.3308	296.2	297.1	1.452	1.451	1.318x10 ⁻²	1.324x10 ⁻²
100.0		1.3289	1.3309	265.8	266.5	1.459	1.459	1.340x10 ⁻²	1.346x10 ⁻²

*現密度式に比較して大きいケース

表 3.3.6 硝酸溶液燃料の臨界計算に対する密度式の効果
(Pu/U 混合硝酸溶液：燃料濃度 300 g/l, ²³⁹Pu 80% + ²⁴⁰Pu 20%, 天然 U)

Pu 富化度 (%)	酸性度 (mol/l)	溶液密度 ρ (g/cc)		原子個数比(H/Fissile)		無限増倍率 K _∞			臨界 Buckling Bc ² (cm ⁻²)	
		新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新-現(%)	新密度式	現密度式
0.0		1.4063*	1.4062	10989.7*	10986.0	0.254	0.254	0.0	---	---
10.0		1.4157*	1.4076	927.3*	919.0	1.288	1.289	-0.1	9.117x10 ⁻³	9.010x10 ⁻³
20.0		1.4247*	1.4134	482.8*	476.8	1.397	1.397	0.0	1.306x10 ⁻³	1.277x10 ⁻³
30.0		1.4334*	1.4215	325.7*	321.4	1.421	1.420	0.1	1.411x10 ⁻³	1.376x10 ⁻³
40.0		1.4418*	1.4310	245.2*	242.3	1.425	1.424	0.1	1.441x10 ⁻³	1.407x10 ⁻³
50.0	0	1.4497*	1.4413	198.3*	194.5	1.423	1.422	0.1	1.446x10 ⁻³	1.419x10 ⁻³
60.0		1.4574*	1.4519	163.4*	162.4	1.420	1.419	0.1	1.445x10 ⁻³	1.427x10 ⁻³
70.0		1.4646*	1.4624	139.7*	139.4	1.418	1.418	0.0	1.444x10 ⁻³	1.437x10 ⁻³
80.0		1.4716	1.4726	121.8	122.0	1.420	1.419	0.1	1.455x10 ⁻³	1.452x10 ⁻³
90.0		1.4781	1.4821	107.8	108.3	1.422	1.422	0.0	1.460x10 ⁻³	1.474x10 ⁻³
100.0		1.4844	1.4909	96.5	97.3	1.431	1.431	0.0	1.488x10 ⁻³	1.511x10 ⁻³
0.0		1.4979*	1.4931	10139.0*	10080.0	0.238	0.238	-0.1	---	---
10.0		1.5047*	1.4987	858.7*	846.6	1.256	1.256	0.0	7.546x10 ⁻³	7.476x10 ⁻³
20.0		1.5111*	1.5056	442.5*	439.5	1.370	1.370	0.0	1.124x10 ⁻³	1.111x10 ⁻³
30.0		1.5172*	1.5124	297.4*	295.8	1.395	1.395	0.0	1.217x10 ⁻³	1.204x10 ⁻³
40.0		1.5229*	1.5191	223.2*	222.2	1.400	1.399	0.1	1.239x10 ⁻³	1.228x10 ⁻³
50.0	3	1.5282*	1.5253	178.0*	177.4	1.398	1.398	0.0	1.238x10 ⁻³	1.230x10 ⁻³
60.0		1.5332*	1.5310	147.6*	147.2	1.396	1.396	0.0	1.231x10 ⁻³	1.225x10 ⁻³
70.0		1.5378*	1.5360	125.7*	125.5	1.395	1.395	0.0	1.228x10 ⁻³	1.221x10 ⁻³
80.0		1.5421*	1.5403	109.2*	109.0	1.397	1.396	0.1	1.224x10 ⁻³	1.219x10 ⁻³
90.0		1.5461*	1.5436	96.3*	96.0	1.401	1.401	0.0	1.231x10 ⁻³	1.224x10 ⁻³
100.0		1.5497*	1.5459	85.9	85.5	1.411	1.411	0.0	1.253x10 ⁻³	1.243x10 ⁻³
0.0		1.5742	1.5800	9103.6	9172.6	0.226	0.226	0.1	---	---
10.0		1.5784	1.5846	762.4	764.8	1.225	1.225	0.0	5.966x10 ⁻³	6.026x10 ⁻³
20.0		1.5821	1.5989	393.9	398.1	1.340	1.340	0.0	9.185x10 ⁻³	9.356x10 ⁻³
30.0		1.5855	1.5945	263.6	266.9	1.366	1.367	-0.1	9.938x10 ⁻³	1.017x10 ⁻²
40.0		1.5886	1.5983	196.9	199.6	1.371	1.372	-0.1	1.007x10 ⁻²	1.033x10 ⁻²
50.0	8	1.5913	1.6013	156.3	158.5	1.370	1.371	-0.1	1.001x10 ⁻²	1.028x10 ⁻²
60.0		1.5937	1.6033	129.0	130.8	1.368	1.370	-0.2	9.897x10 ⁻³	1.016x10 ⁻²
70.0		1.5957	1.6043	109.3	110.7	1.368	1.370	-0.2	9.801x10 ⁻³	1.004x10 ⁻²
80.0		1.5974	1.6043	94.5	95.5	1.371	1.372	-0.1	9.763x10 ⁻³	9.945x10 ⁻³
90.0		1.5987	1.6032	82.8	83.4	1.378	1.377	-0.1	9.779x10 ⁻³	9.907x10 ⁻³
100.0		1.5996	1.6010	73.5	73.6	1.389	1.389	0.0	9.960x10 ⁻³	1.000x10 ⁻²

*現密度式に比較して大きいケース

表 3.3.7 硝酸溶液燃料の臨界計算に対する密度式の効果

(Pu/U 混合硝酸溶液：燃料濃度 500 g/l, ²³⁹Pu 80% + ²⁴⁰Pu 20%, 天然U)

Pu 富化度 (%)	酸性度 (mol/l)	溶液密度 ρ (g/cc)		原子個数比(H/Fissile)		無限増倍率 K _∞		臨界 Buckling Bc ² (cm ⁻²)	
		新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新密度式	現密度式	新密度式	現密度式
0.0		1.6697*	1.6656	6103.1*	6073.5	0.362	0.363	----	----
10.0		1.6873*	1.6787	515.2*	510.0	1.332	1.333	1.032x10 ⁻²	1.014x10 ⁻²
20.0		1.7040*	1.6954	288.2*	285.5	1.376	1.375	1.209x10 ⁻²	1.186x10 ⁻²
30.0		1.7196*	1.7133	180.7*	179.4	1.374	1.373	1.227x10 ⁻²	1.209x10 ⁻²
40.0		1.7343*	1.7313	135.8*	135.4	1.367	1.367	1.221x10 ⁻²	1.212x10 ⁻²
50.0	0	1.7481	1.7489	108.5	108.6	1.362	1.362	1.214x10 ⁻²	1.217x10 ⁻²
60.0		1.7608	1.7656	90.0	90.5	1.360	1.361	1.212x10 ⁻²	1.227x10 ⁻²
70.0		1.7726	1.7810	76.6	77.4	1.361	1.362	1.217x10 ⁻²	1.242x10 ⁻²
80.0		1.7833	1.7948	66.4	67.4	1.366	1.367	1.231x10 ⁻²	1.265x10 ⁻²
90.0		1.7931	1.8087	58.4	59.5	1.376	1.377	1.256x10 ⁻²	1.299x10 ⁻²
100.0		1.8020	1.8167	52.0	53.0	1.395	1.396	1.313x10 ⁻²	1.357x10 ⁻²
0.0		1.7519	1.7525	5524.8	5529.0	0.343	0.343	----	----
10.0		1.7652*	1.7650	463.6	463.6	1.302	1.302	8.485x10 ⁻³	8.485x10 ⁻³
20.0		1.7774	1.7788	239.9	240.3	1.347	1.347	9.992x10 ⁻³	1.003x10 ⁻²
30.0		1.7887	1.7919	160.6	161.3	1.346	1.346	1.006x10 ⁻²	1.015x10 ⁻²
40.0		1.7990	1.8040	119.9	120.7	1.340	1.341	9.832x10 ⁻³	1.007x10 ⁻²
50.0	3	1.8084	1.8148	95.1	96.0	1.337	1.338	9.805x10 ⁻³	9.979x10 ⁻³
60.0		1.8187	1.8240	78.3	79.1	1.338	1.337	9.734x10 ⁻³	9.829x10 ⁻³
70.0		1.8241	1.8316	66.1	66.9	1.339	1.340	9.730x10 ⁻³	9.927x10 ⁻³
80.0		1.8305	1.8372	56.9	57.5	1.346	1.347	9.803x10 ⁻³	9.981x10 ⁻³
90.0		1.8359	1.8409	49.7	50.1	1.358	1.359	9.997x10 ⁻³	1.013x10 ⁻²
100.0		1.8403	1.8425	43.7	43.9	1.382	1.382	1.044x10 ⁻²	1.050x10 ⁻²
0.0		1.8188	1.8394	4836.5	4984.5	0.329	0.325	----	----
10.0		1.8277	1.8481	402.6	415.2	1.270	1.271	6.542x10 ⁻³	6.891x10 ⁻³
20.0		1.8356	1.8573	208.8	213.6	1.313	1.316	7.694x10 ⁻³	8.195x10 ⁻³
30.0		1.8425	1.8652	137.2	142.1	1.312	1.312	7.669x10 ⁻³	8.211x10 ⁻³
40.0		1.8484	1.8714	101.5	105.3	1.308	1.312	7.493x10 ⁻³	8.041x10 ⁻³
50.0	6	1.8533	1.8759	79.7	82.7	1.306	1.310	7.350x10 ⁻³	7.870x10 ⁻³
60.0		1.8573	1.8785	64.9	67.3	1.308	1.311	7.261x10 ⁻³	7.736x10 ⁻³
70.0		1.8603	1.8791	54.3	56.1	1.314	1.316	7.237x10 ⁻³	7.650x10 ⁻³
80.0		1.8623	1.8777	46.1	47.5	1.324	1.325	7.277x10 ⁻³	7.609x10 ⁻³
90.0		1.8633	1.8741	39.7	40.6	1.340	1.341	7.418x10 ⁻³	7.852x10 ⁻³
100.0		1.8634	1.8663	34.5	34.9	1.369	1.369	7.778x10 ⁻³	7.890x10 ⁻³

*現密度式に比較して大きいケース

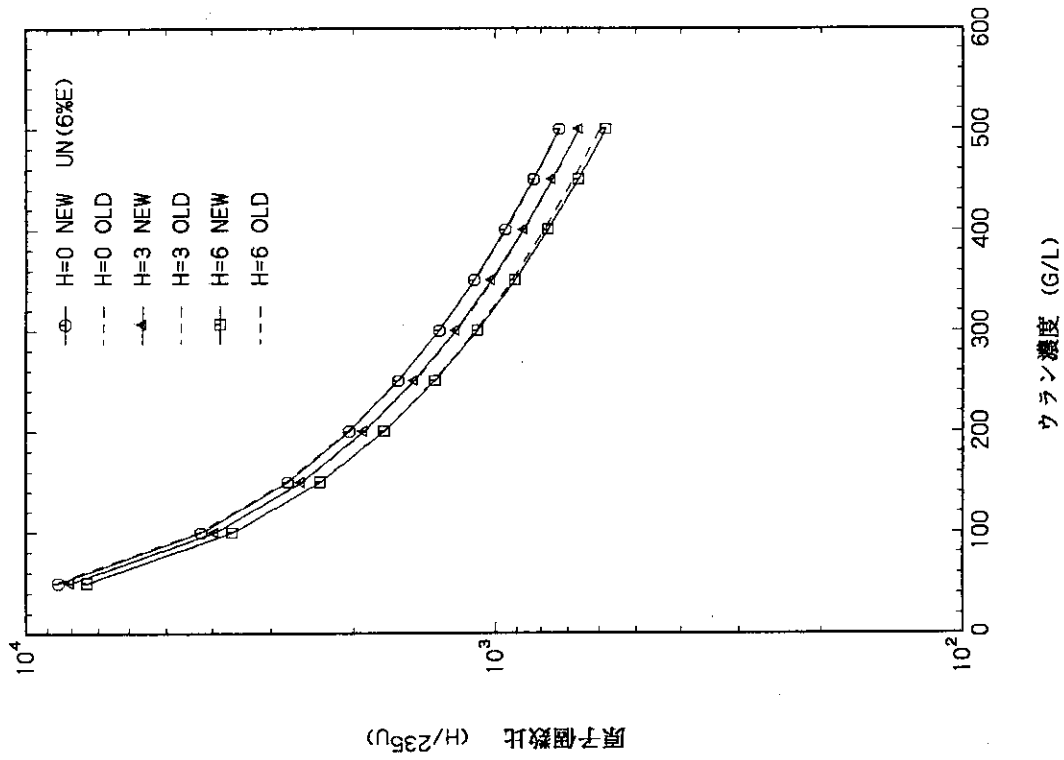


図 3.1.1 硝酸ウラニル水溶液の密度

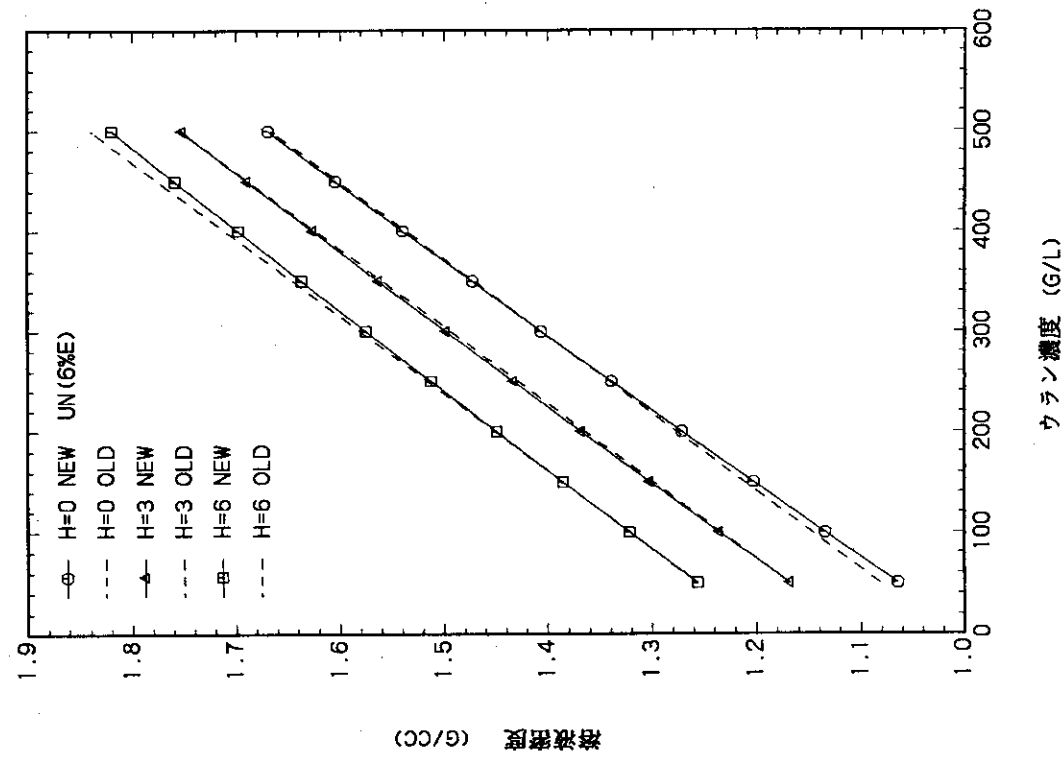


図 3.1.2 硝酸ウラニル水溶液の原子個数比

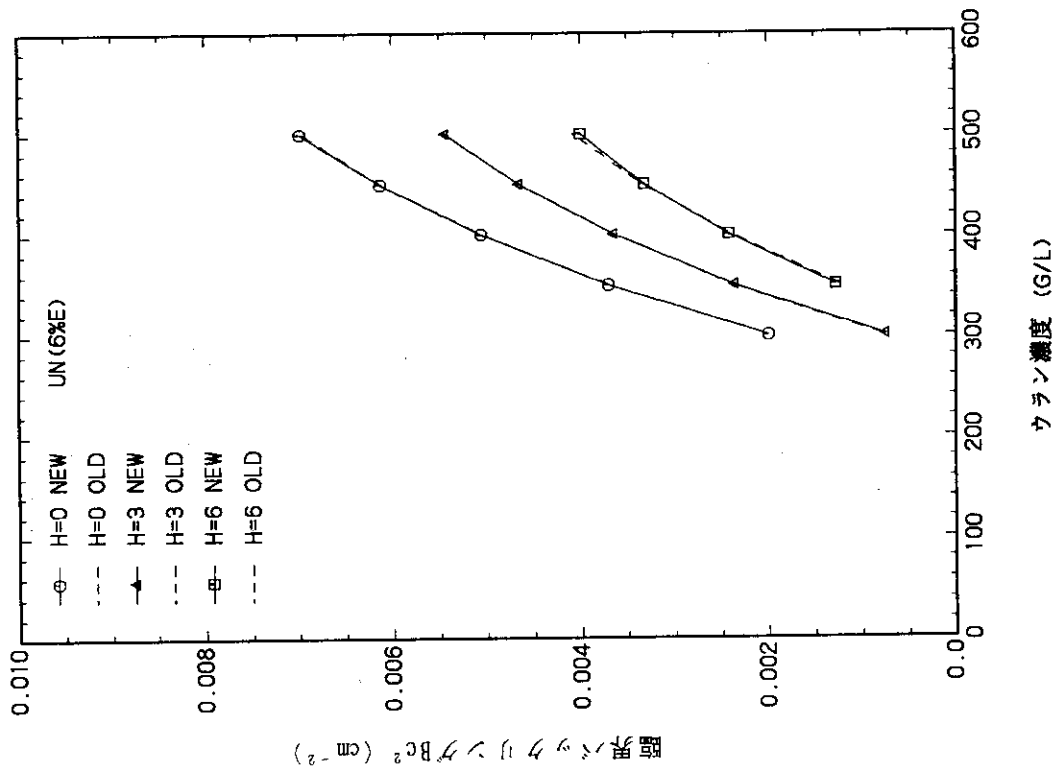


図 3.1.3 硝酸ウラニル水溶液中の中性子無限増倍率

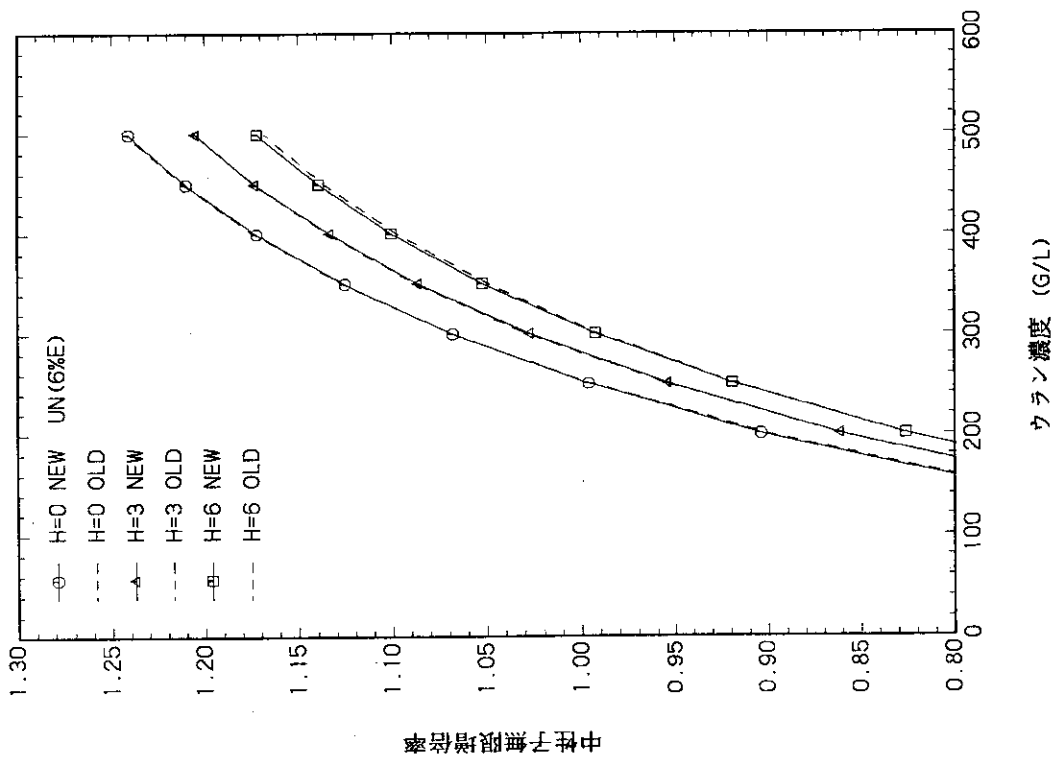


図 3.1.4 硝酸ウラニル水溶液の臨界バックリング

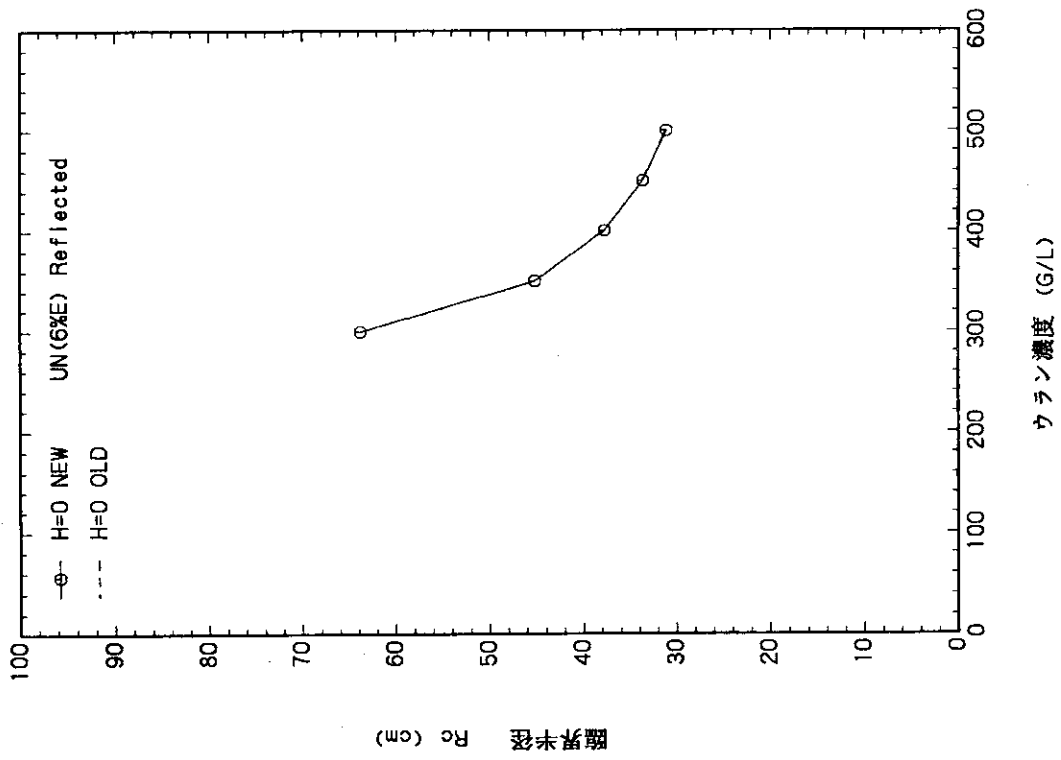


図 3.1.5 球体系の臨界半径 (硝酸ウラニル水溶液)

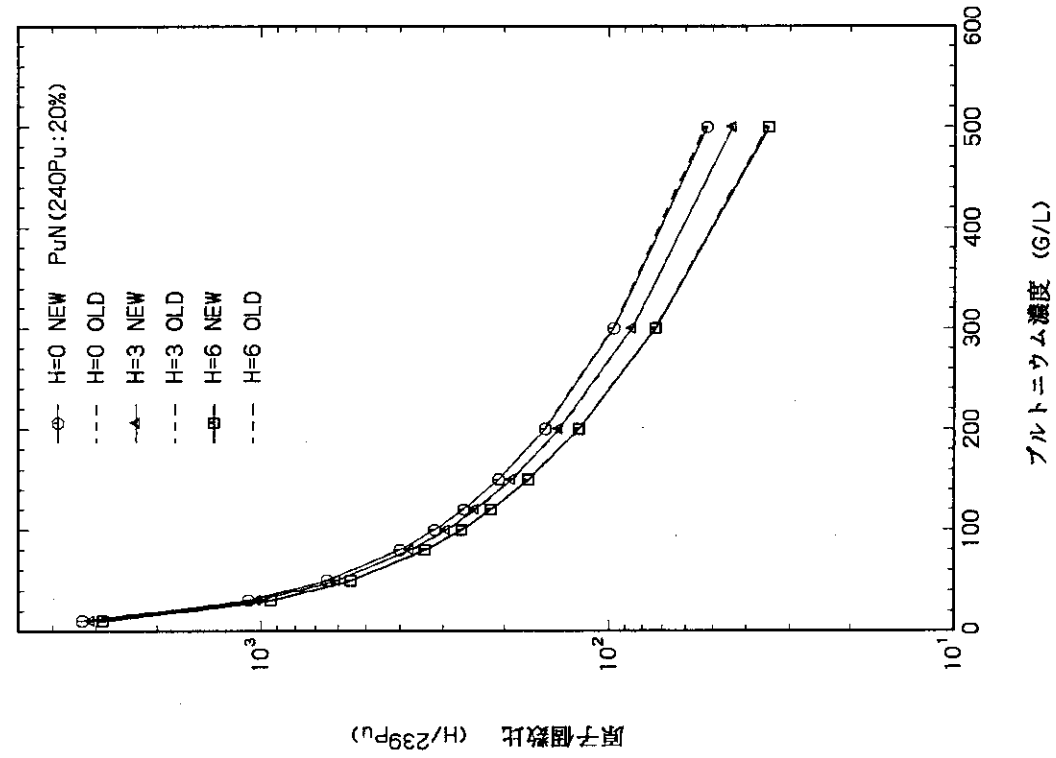


図 3.2.2 硝酸プルトニウム水溶液の原子個数比

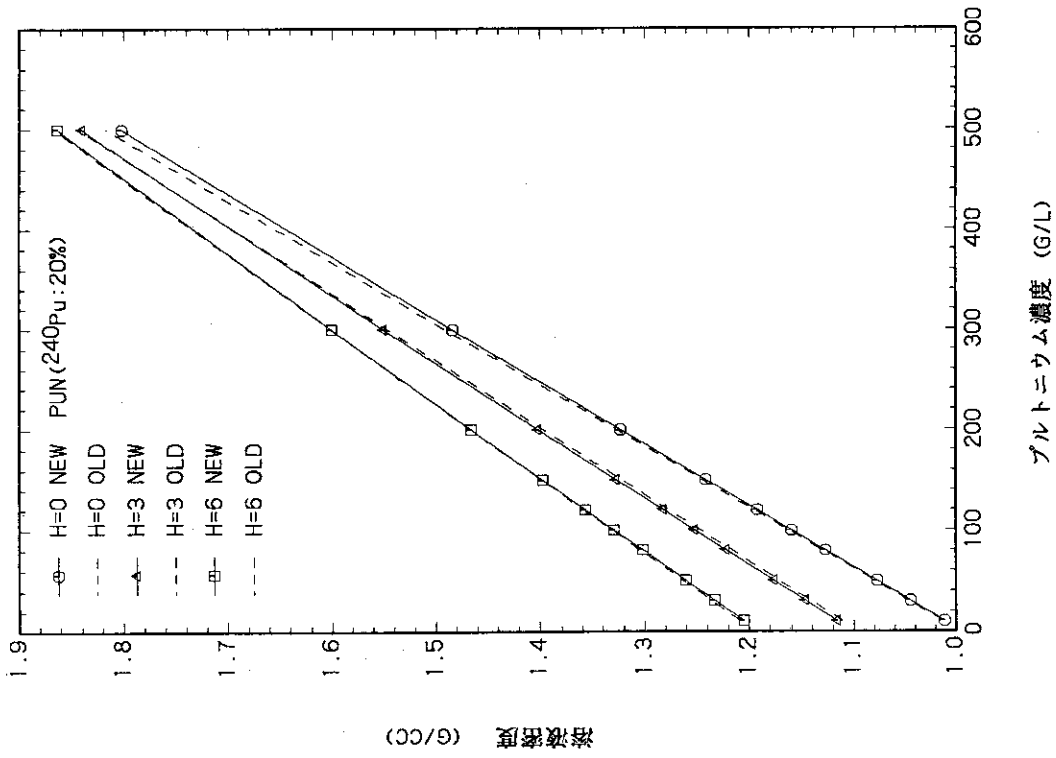


図 3.2.1 硝酸プルトニウム水溶液の密度

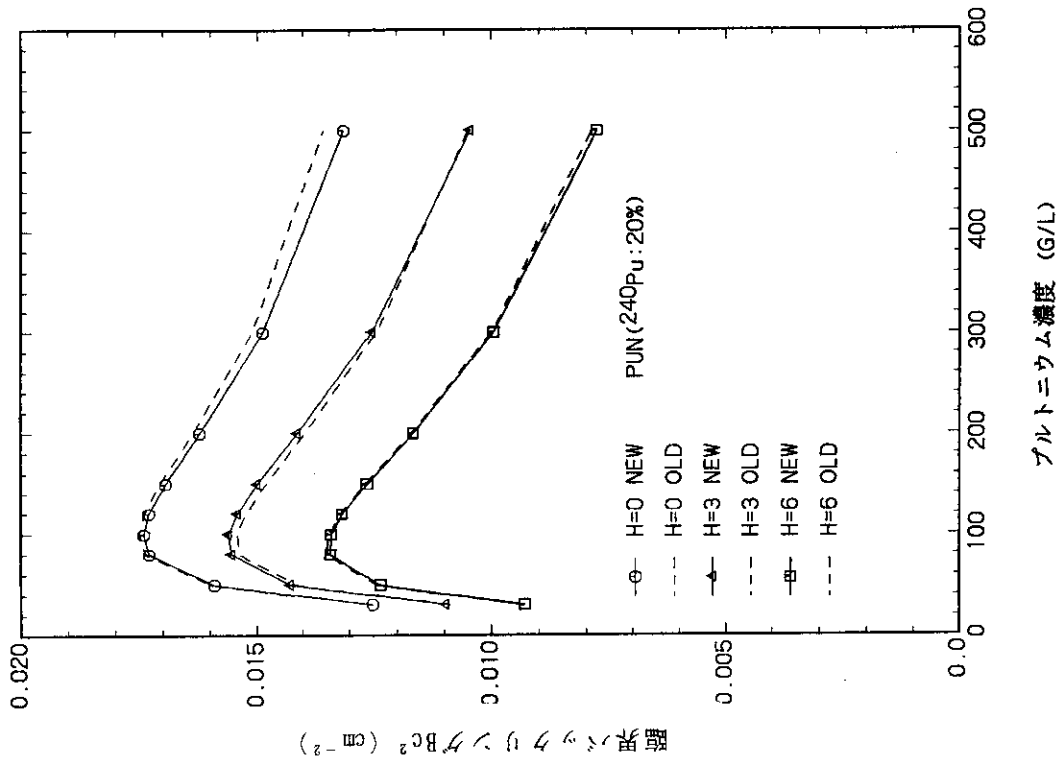


図 3.2.4 硝酸プルトニウム溶液の臨界バックスファクタ

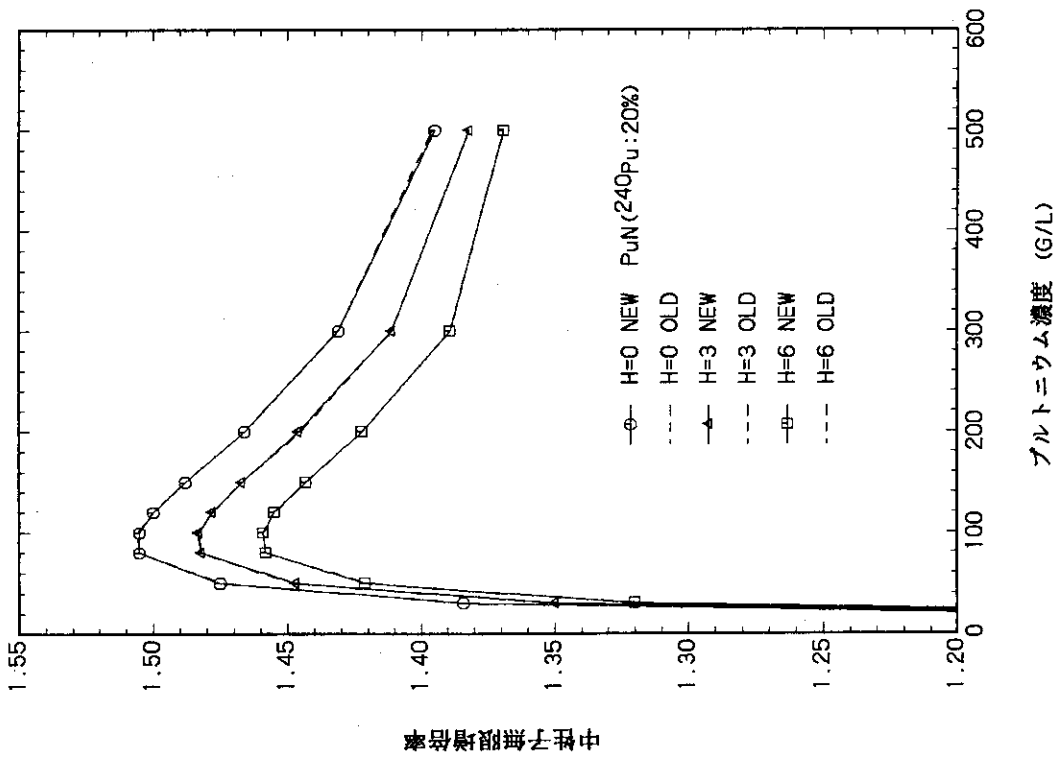


図 3.2.3 硝酸プルトニウム水溶液の中性子無限増倍率

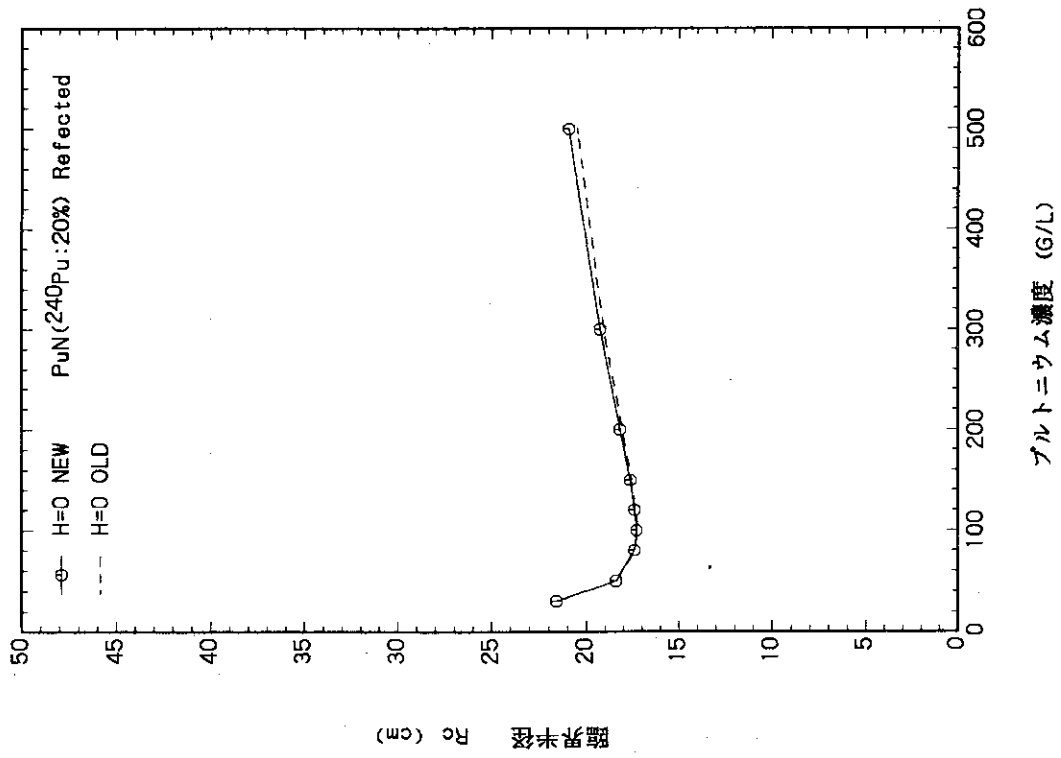


図 3.2.5 球体系の臨界半径 (硝酸プルトニウム水溶液)

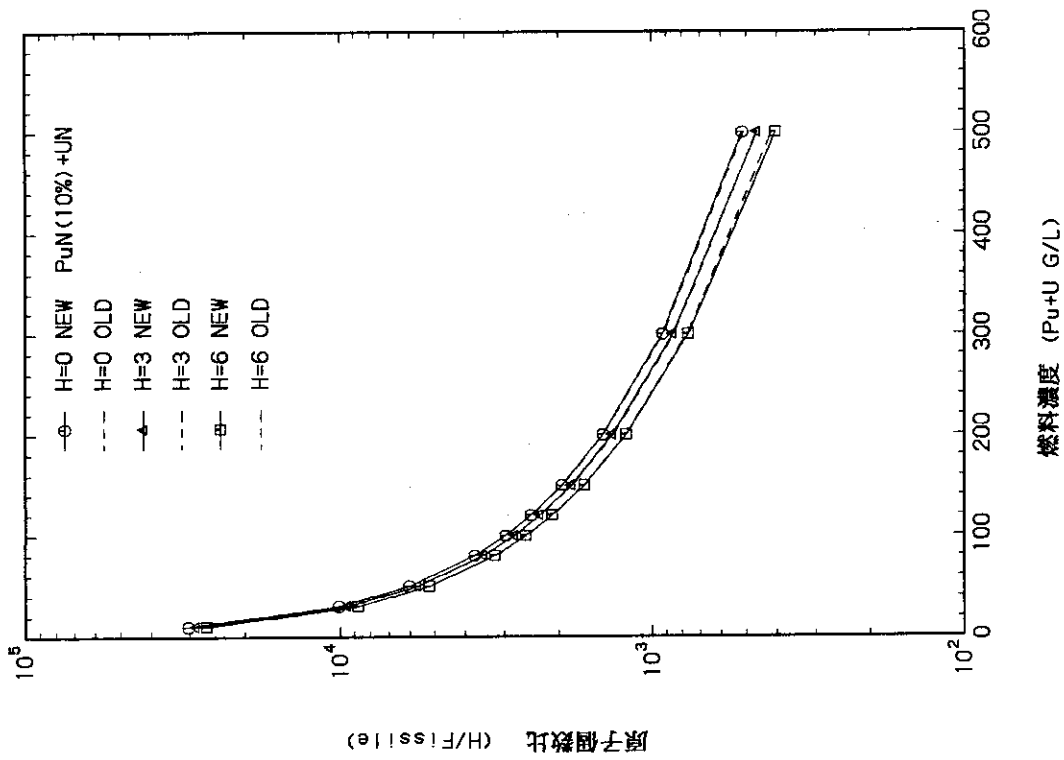


図 3.3.2 混合硝酸水溶液の原子個数比

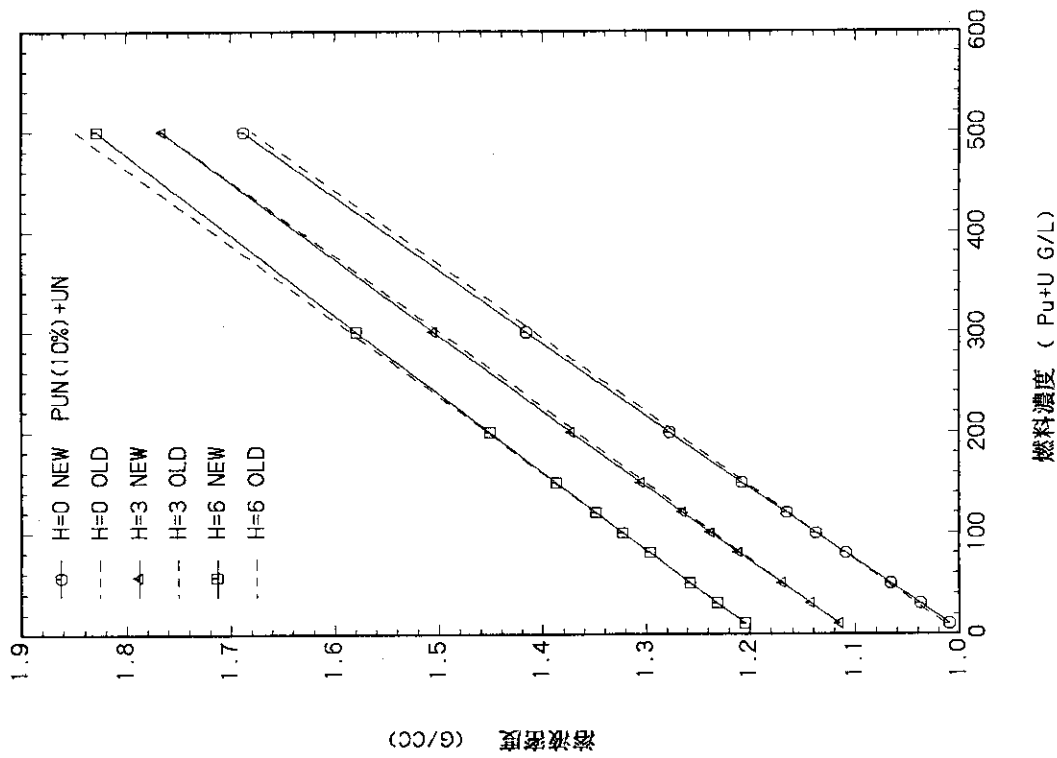


図 3.3.1 混合硝酸水溶液の密度

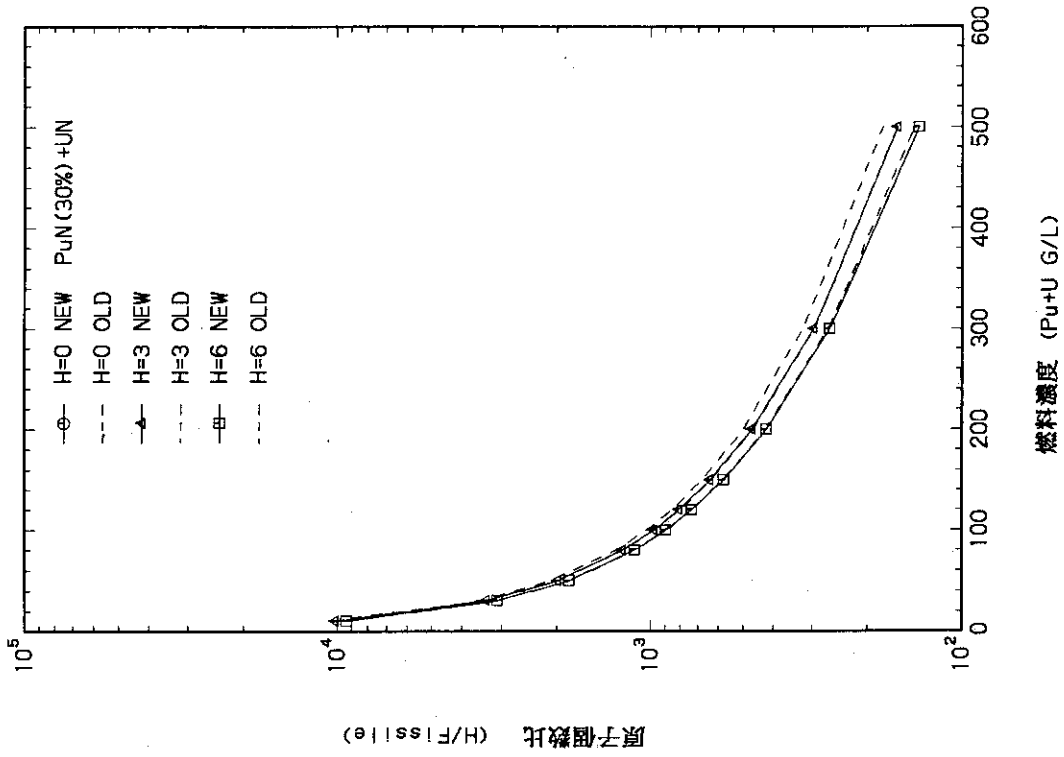


図 3.3.4 混合硝酸水溶液の原子個数比

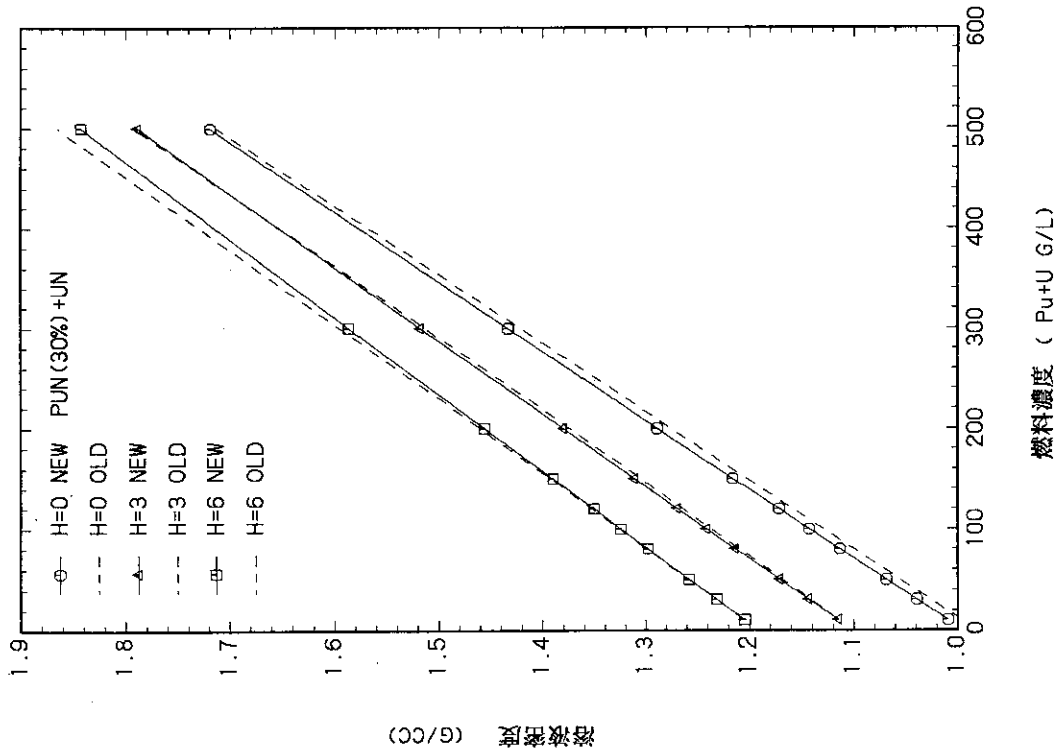


図 3.3.3 混合硝酸水溶液の密度

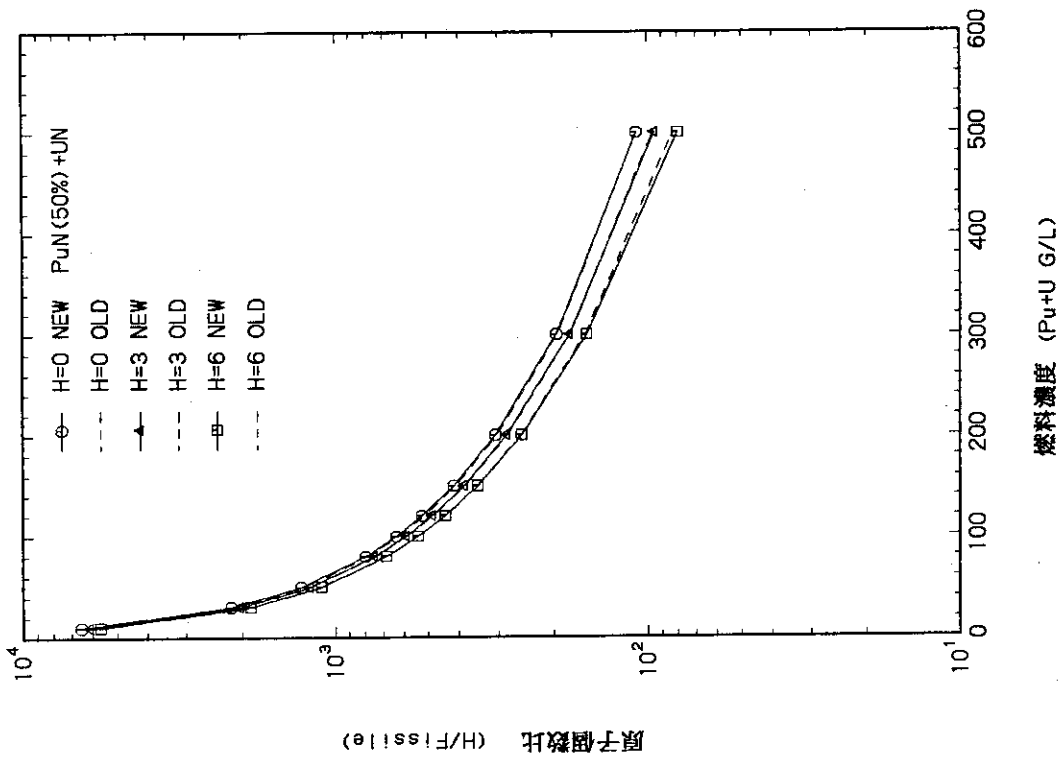


図 3.3.6 混合硝酸水溶液の原子個数比

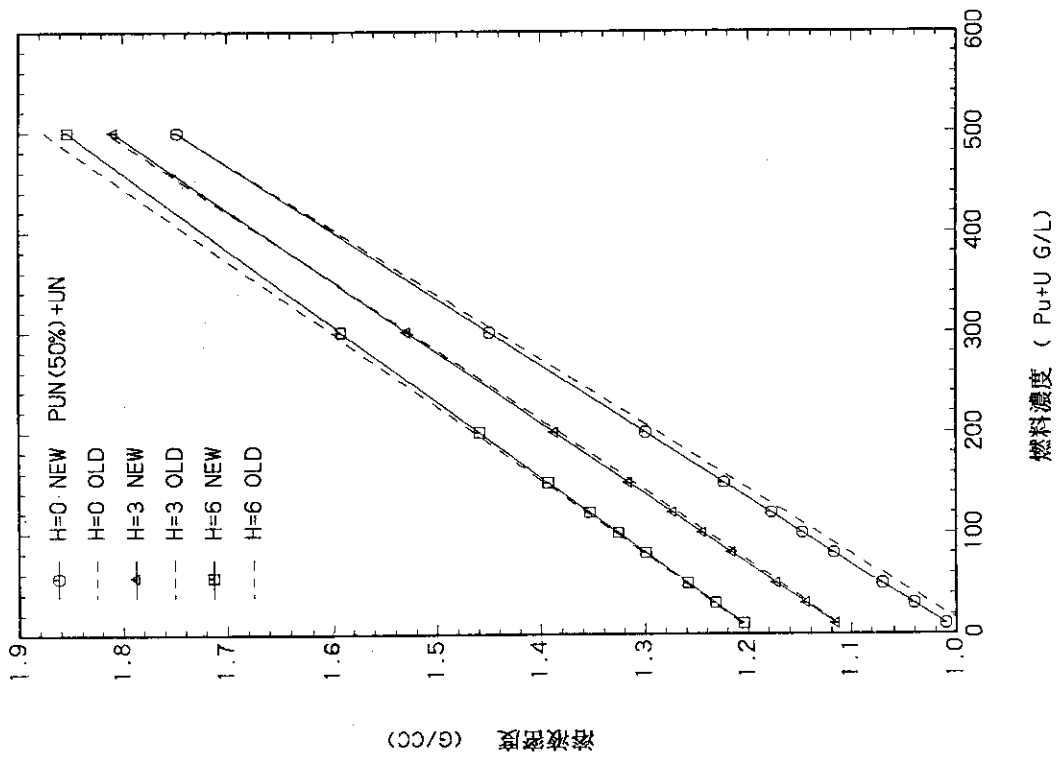


図 3.3.5 混合硝酸水溶液の密度

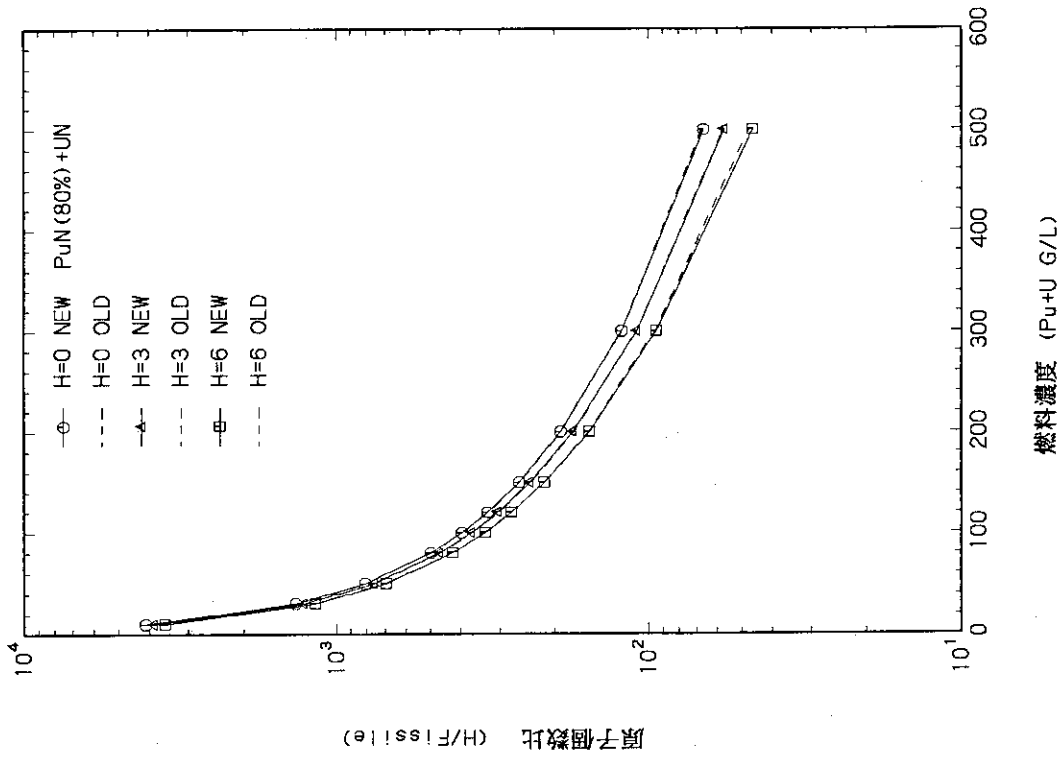


図 3.3.8 混合硝酸水溶液の原子個数比

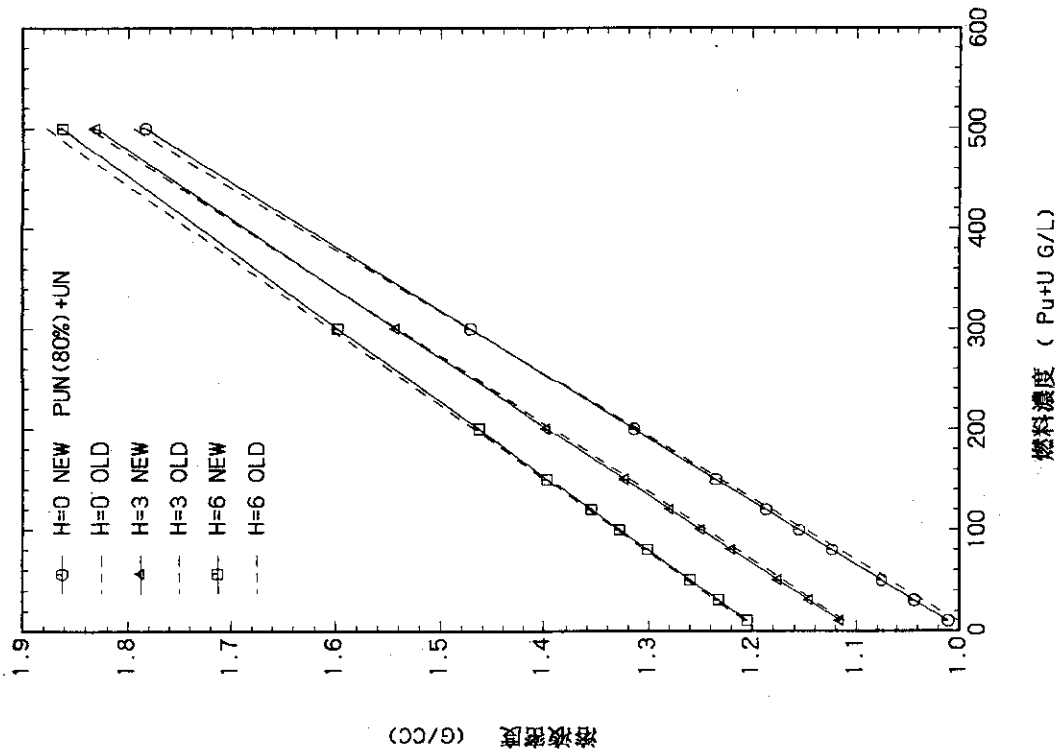


図 3.3.7 混合硝酸水溶液の密度

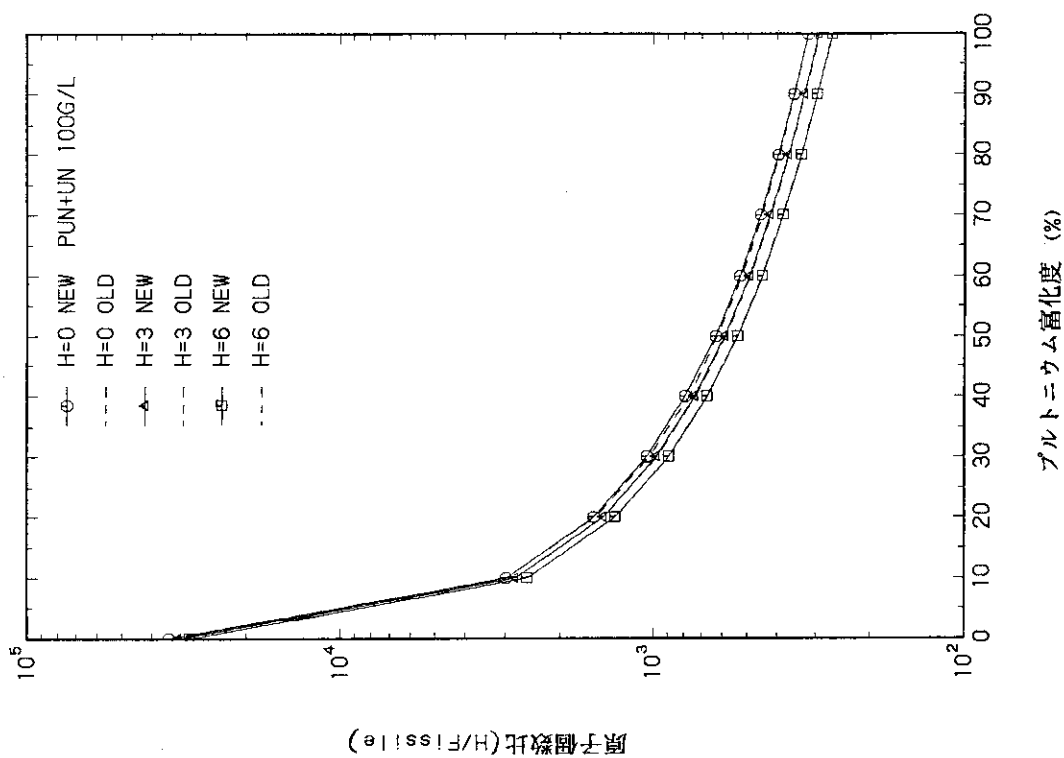


図 3.3.10 混合硝酸水溶液の原子個数比

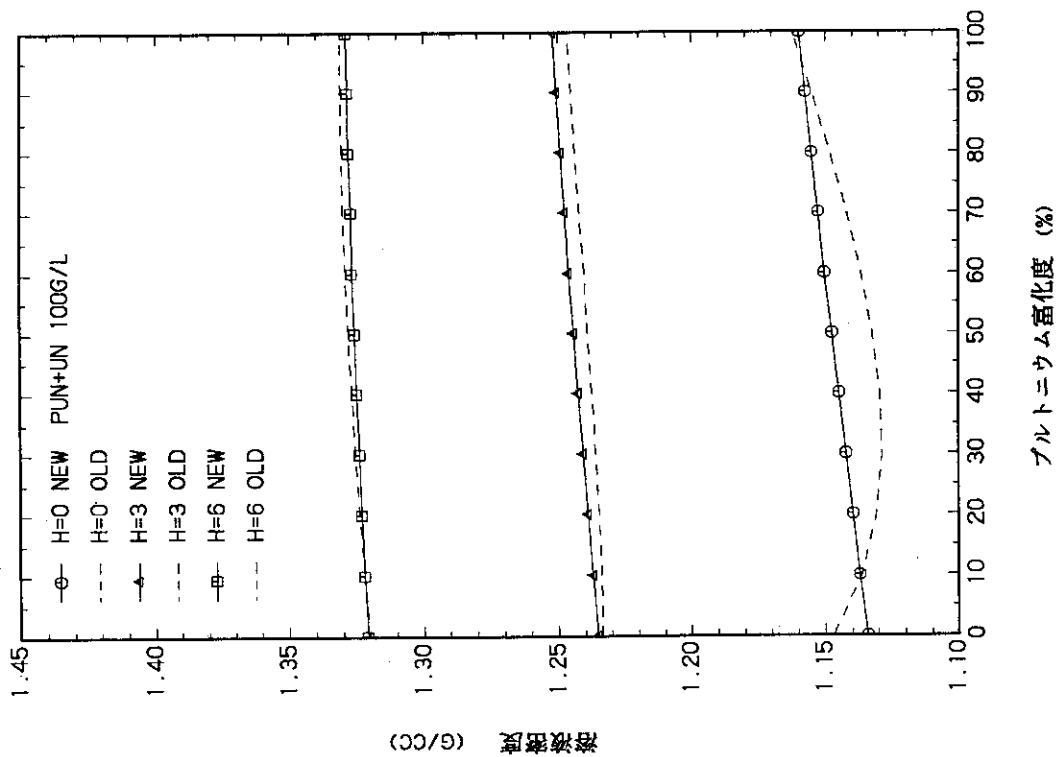


図 3.3.9 混合硝酸水溶液の密度

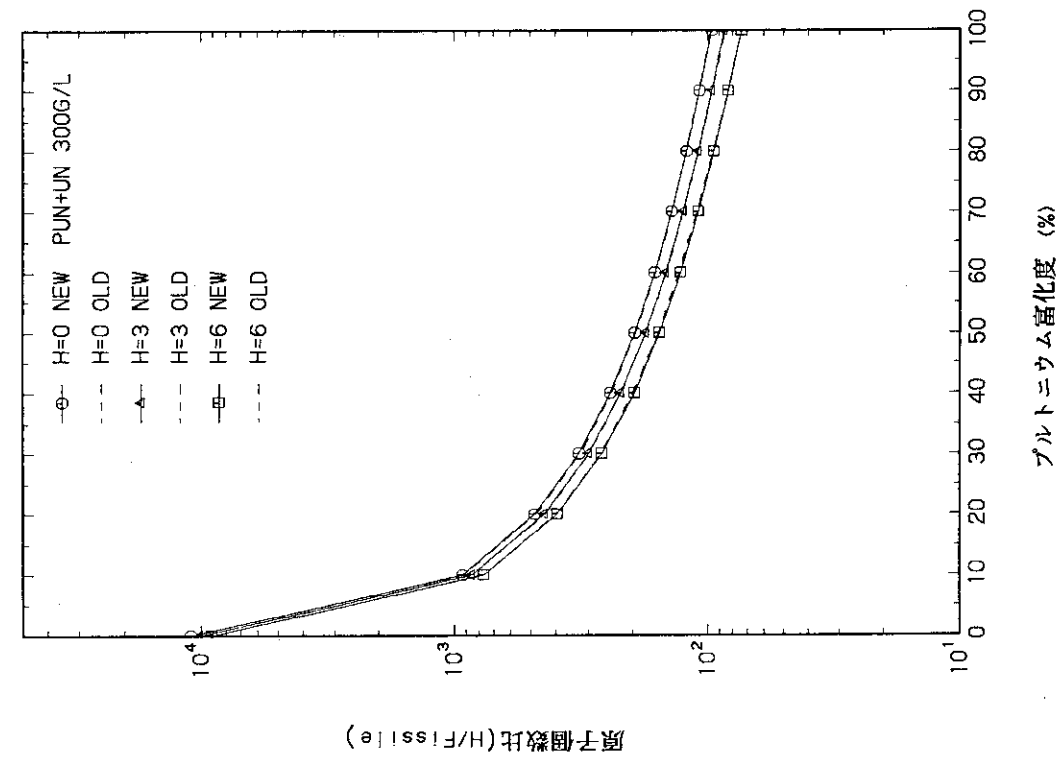


図 3.3.11 混合硝酸水溶液の密度

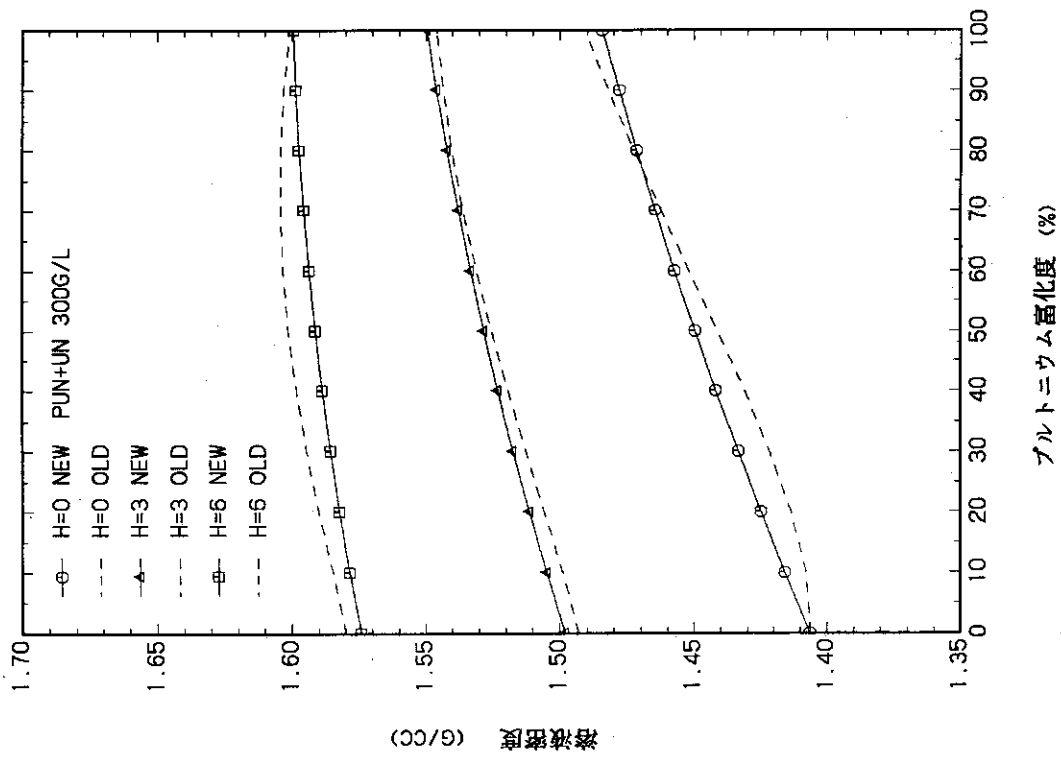


図 3.3.12 混合硝酸水溶液の原子個数比

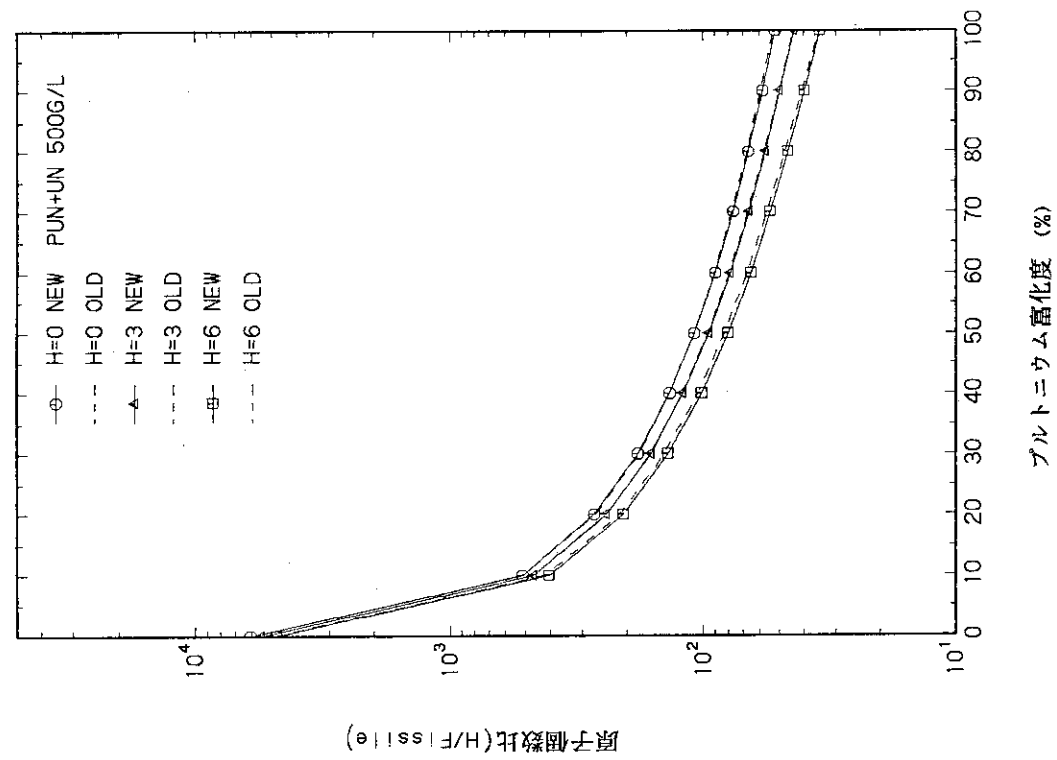


図 3.3.14 混合硝酸水溶液の原子個数比

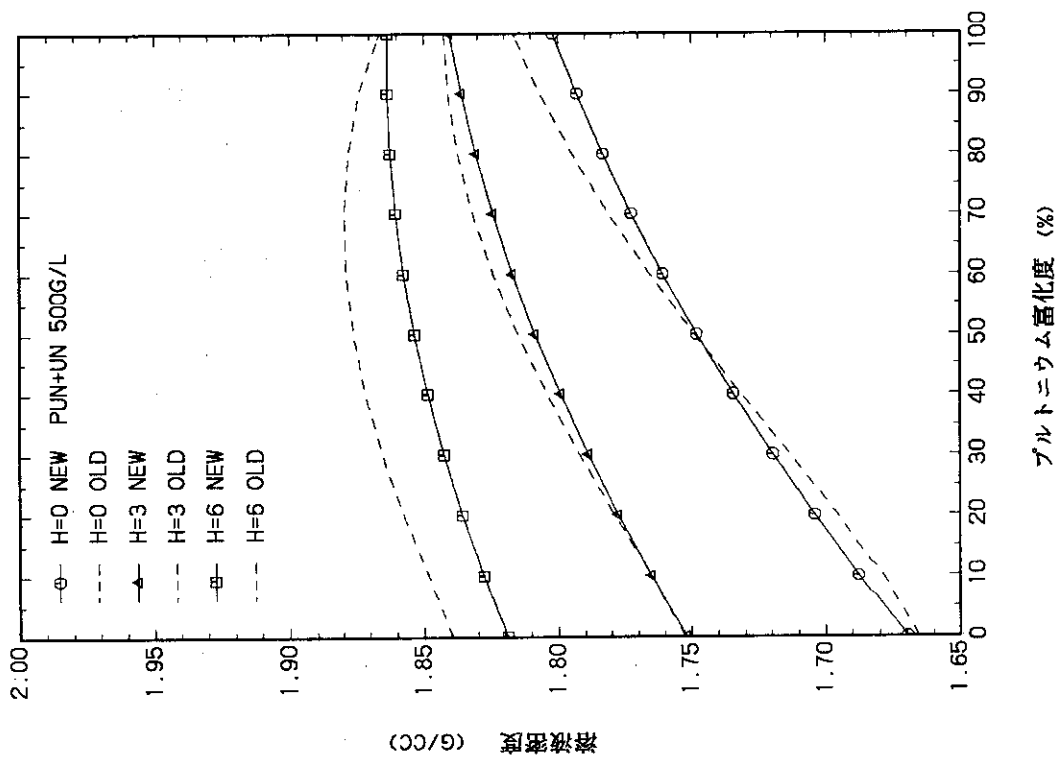


図 3.3.13 混合硝酸水溶液の密度

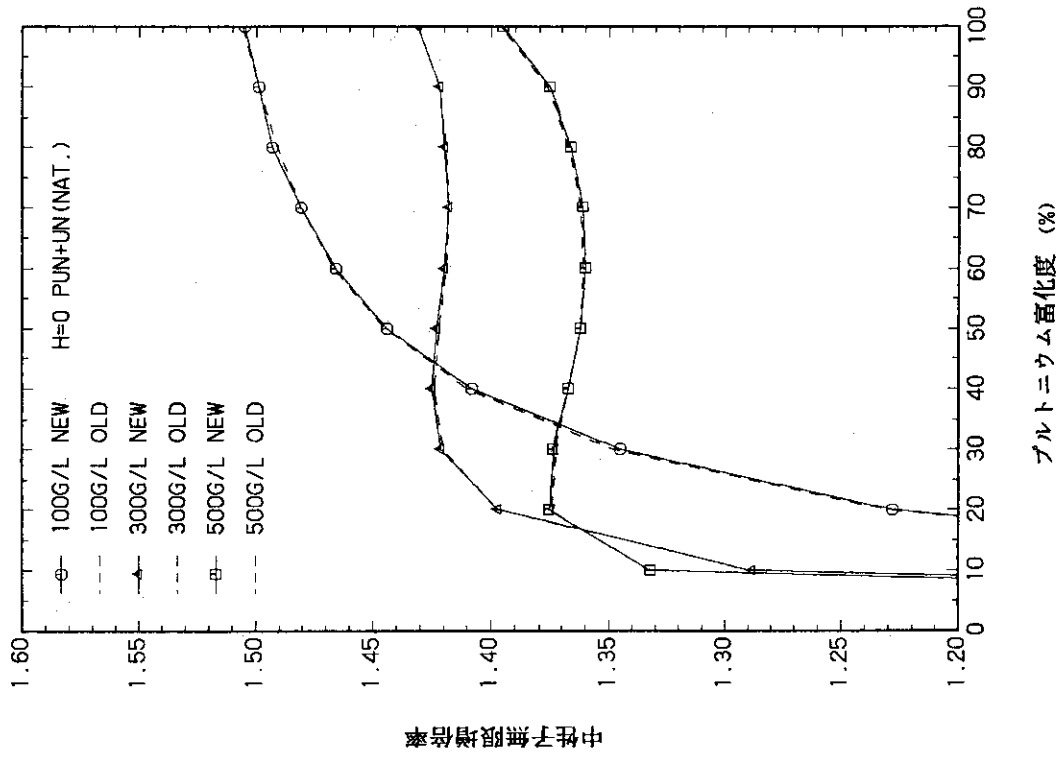


図 3.3.15 混合硝酸水溶液の中性子無限増倍率

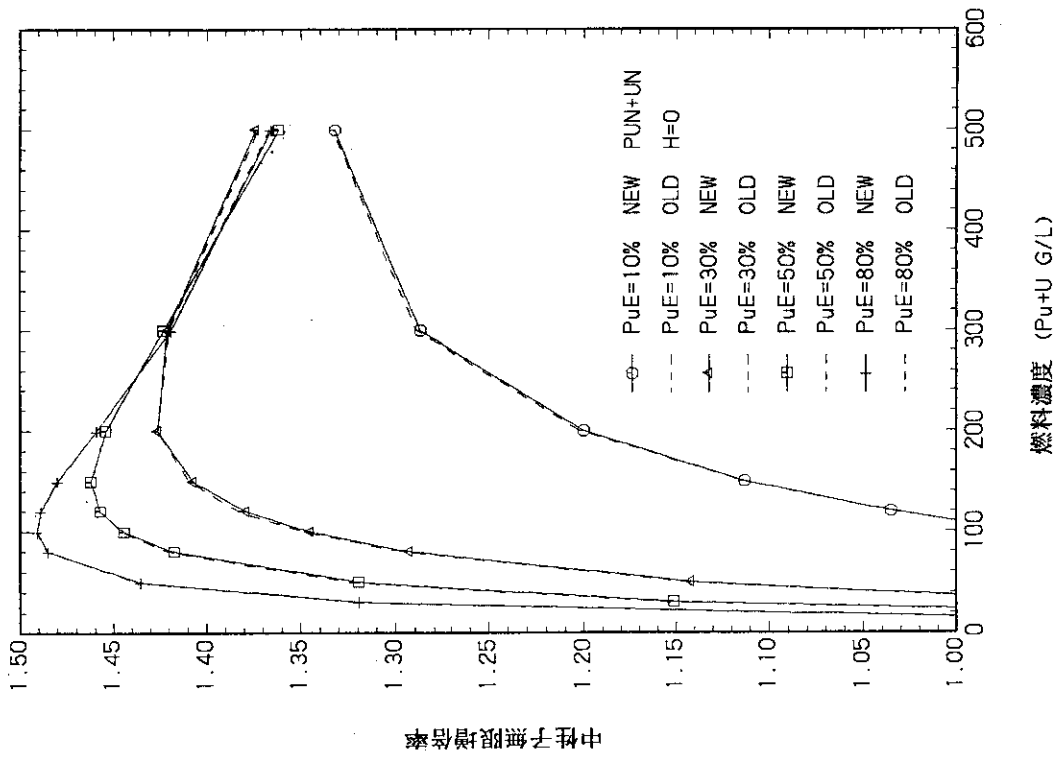


図 3.3.16 混合硝酸水溶液の中性子無限増倍率

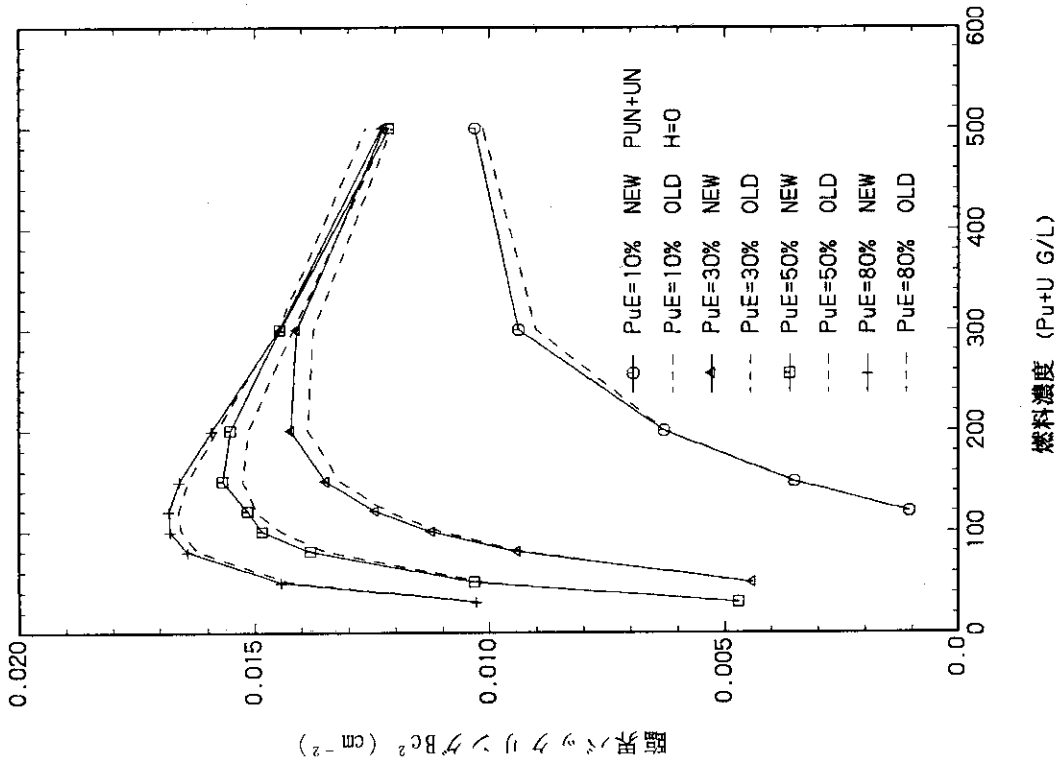


図 3.3.18 混合硝酸水溶液の臨界バックリング

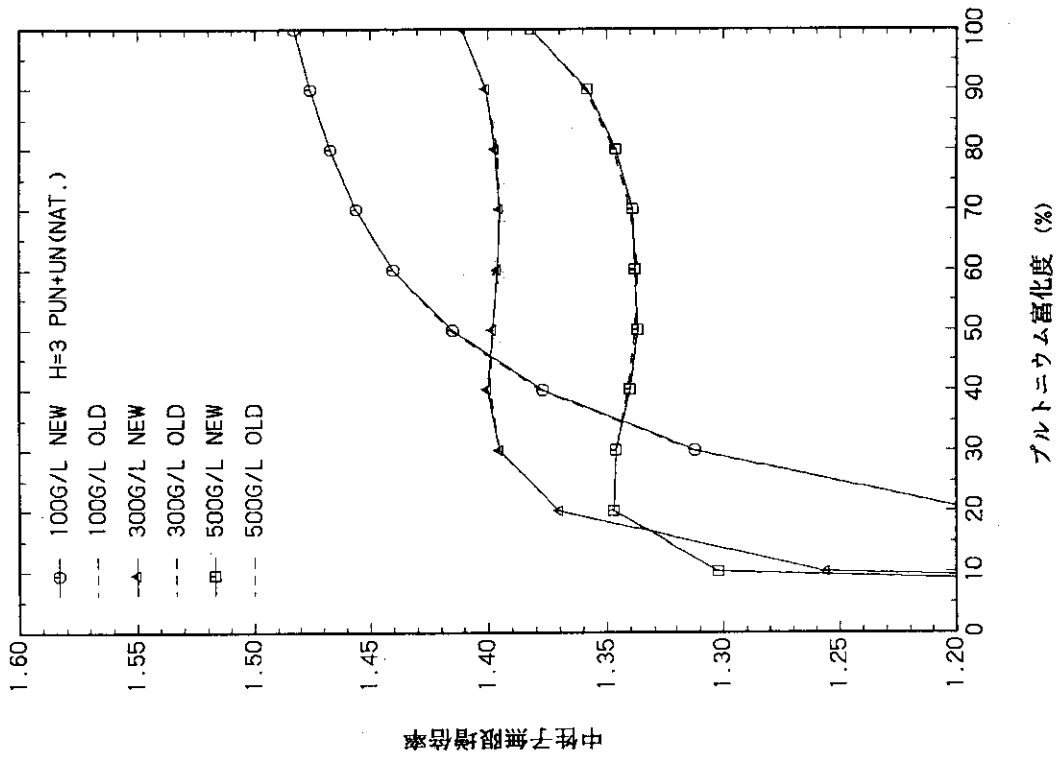


図 3.3.17 混合硝酸水溶液の中性子無限増倍率

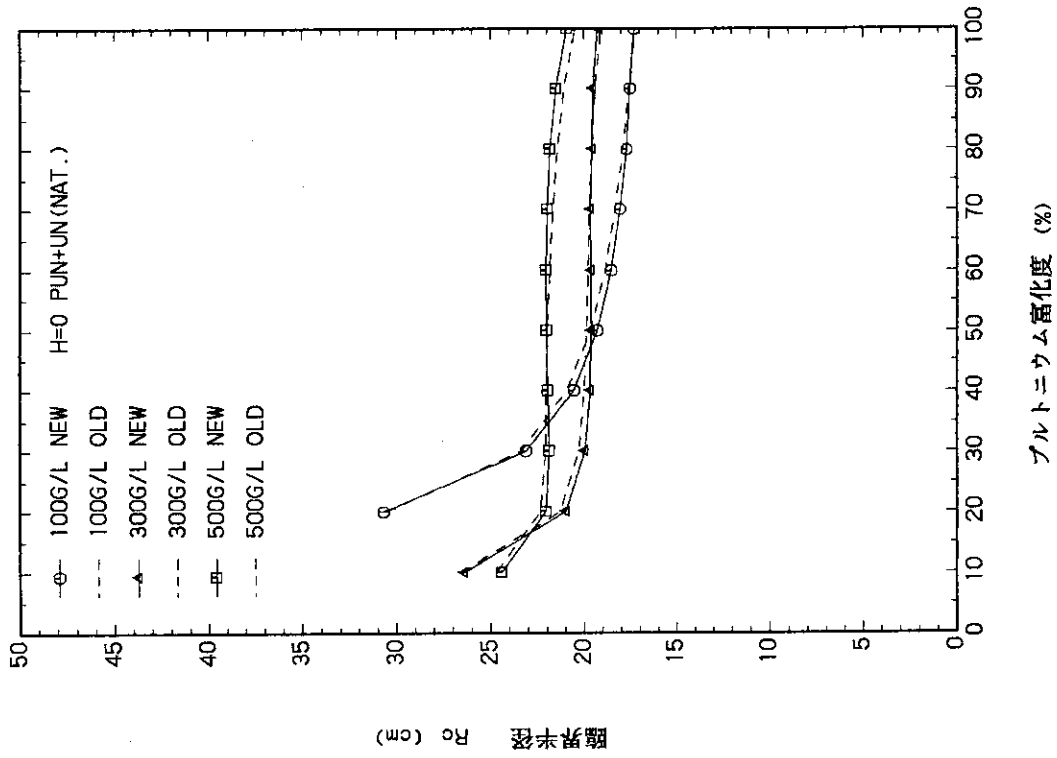


図 3.3.20 球体系の臨界半径 (U/Pu 混合硝酸水溶液)

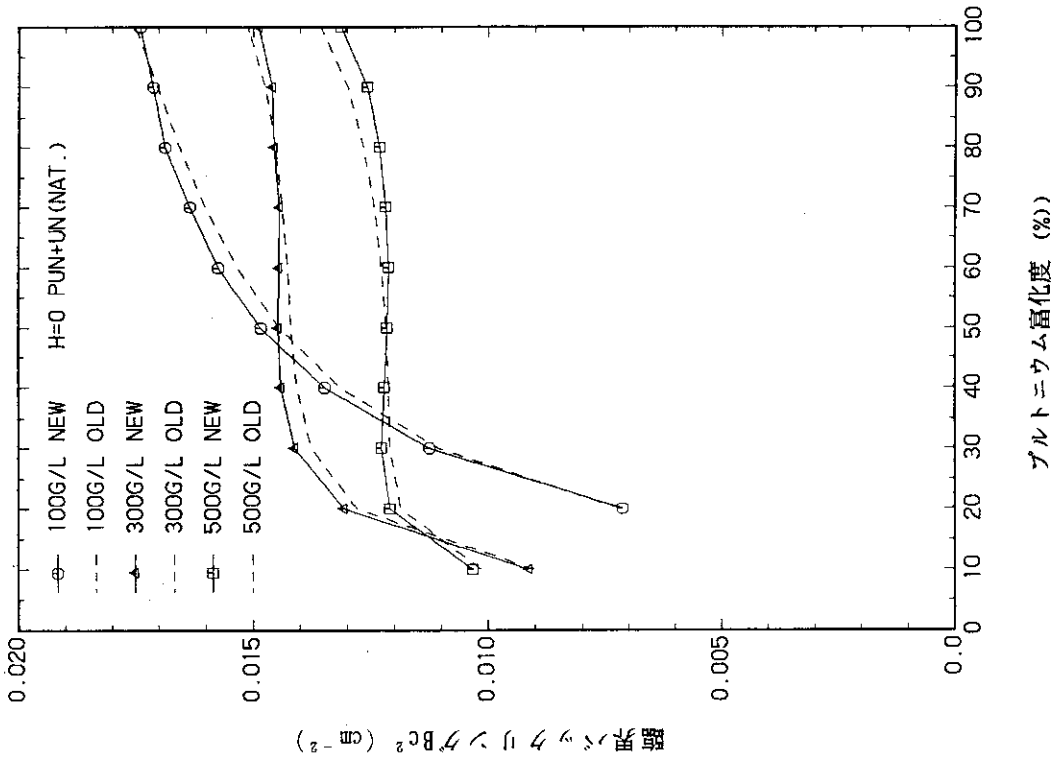


図 3.3.19 混合硝酸水溶液の臨界バックリング