

評価の詳細

研究開発課題名（研究機関名）：

高選択・制御性沈殿剤による高度化沈殿法再処理システムの開発

(国立大学法人 東京工業大学)

機関名：国立大学法人 東京工業大学

代表者氏名：池田泰久

機関名：独立行政法人 日本原子力研究開発機構

代表者氏名：森田泰治

機関名：三菱マテリアル株式会社

代表者氏名：菊池俊明

研究期間及び予算額：平成17年度～平成21年度（5年計画）

618,816千円

平成17年度 39,035千円

平成18年度 212,660千円

平成19年度 152,239千円

平成20年度 114,880千円

平成21年度 100,001千円

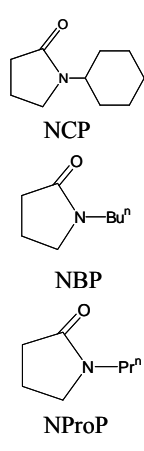
項目	内容
1. 目的・目標	<p>研究代表者は、特殊な雰囲気や条件や複雑な装置を必要とせず、廃棄物の処理・処分の観点から合理性・整合性があることを基本とし、かつ将来の原子力燃料として想定される混合酸化物燃料や窒化物燃料への適用性がある等、多様化する燃料形態に運転条件等の変更のみで容易に対応できる FBR 燃料再処理技術を目指し、研究開発を行ってきた。その基本は、我々が硝酸水溶液中の UO_2^{2+} を高選択的に沈殿させるピロリドン化合物 [<i>N</i>-シクロヘキシル-2-ピロリドン (NCP)] (Fig. 1) を発見し、かつ本化合物が C, H, O, N のみからなることから沈殿物を容易に U 酸化物に転換しうることを見出したことにある。これらの性質及び UO_2^{2+} と同様の化学形態を取る PuO_2^{2+} も同じく NCP により沈殿するとの予想の基に、NCP を沈殿剤とする沈殿法のみから成る FBR 燃料用再処理システムを提案し、その基本的な成立性について検討し、第1沈殿工程 (U 粗分離) と第2沈殿工程 (U・Pu 共沈殿) の2つの主工程から構成される簡易再処理システムを構築しうる見通しを得た。しかし、次に示す克服すべき課題があることも明らかになった。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・第1沈殿工程において、Pu(IV)が U(VI)と共沈するため、その再溶解に攪拌時間を長くする必要があるので、沈殿生成槽の基数増・容量増をもたらす。 ・NCP ウラニル沈殿の除染係数を向上させるため、現状では比較的多くの洗浄液を必要とする。 <p>一方、これまでの沈殿能発現機構の検討から、NCP 以外のピロリドン誘導体にも、硝酸水溶液中の UO_2^{2+} を選択的に沈殿させるものがあり、低配位性・低疎水性のピロリドン誘導体 (例：<i>N</i>-<i>n</i>-ブチル-2-ピロリドン(NBP), <i>N</i>-<i>n</i>-プロピル-2-ピロリドン(NProP), Fig. 1) は弱い沈殿能を、その逆のものは強い沈殿能を有することが判明した。それゆえ、疎水性・配位性の違いを利用し、沈殿能を制御することで上記課題を克服し、工程を更に簡素化することが可能となると期待される。</p> <div style="text-align: right;">  <p>NCP NBP NProP</p> </div>

Fig.1 ピロリドン誘導体

そこで、本事業では、従来の NCP 沈殿法を基本とした簡易再処理システムに、更に選択性・制御性に優れた沈殿剤を導入し、より簡便で分離性・安全性・経済性に優れた高度化沈殿法再処理システム (Fig. 2) を構築することを目的に、次の4テーマについて研究・開発を行った。

- (1)U, Pu 選択的沈殿剤の基盤技術開発,
 (2)高度化沈殿システムにおける工学的技術開発, (3)プロセス検討, (4)総合評価

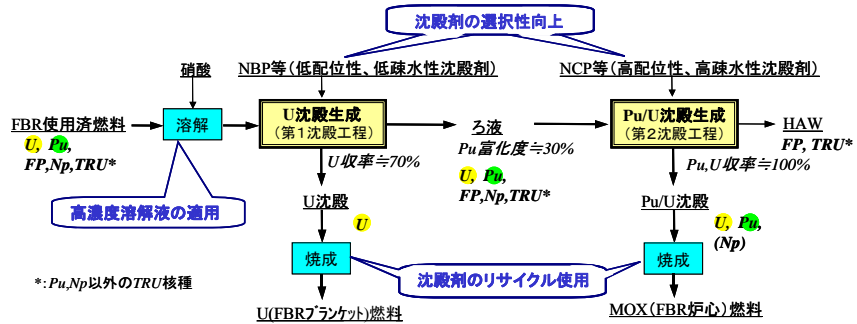


Fig. 2 本事業で構築を目指す高度化沈殿法再処理システムの概念

2. 研究成果

- ・ 成果
- ・ 副次的な成果
- ・ 論文、特許等

(以下のすべてにおいて「・」部分に検討内容を、「-」部分に成果を示す。)

【1. U、Pu 選択的沈殿法の基盤技術開発】

【1.1 低配位性・低疎水性沈殿剤及び NCP による沈殿条件の最適化検討】

【1.1.1 低配位性・低疎水性沈殿剤による沈殿条件の最適化】

- ・ 第1沈殿工程用の低配位性・低疎水性候補沈殿剤である NBP 及び NProP の沈殿能について、1.5 M (M = mol dm⁻³) の UO₂²⁺ を含む 3 M 及び 5 M 硝酸水溶液を用い、温度と [沈殿剤]/[UO₂²⁺] をパラメーターとして沈殿試験を行い、また模擬 FP 物質を用い、洗浄剤 (硝酸及び沈殿剤を含む水溶液) による除染性を検討した。
- 予想通り化学量論的に U(VI) を沈殿させること、0.5M の沈殿剤を含む 3M 硝酸水溶液で洗浄した場合、ほとんどの模擬 FP 金属イオンの除染係数 (DF) が 100 を大きく上回ることがわかった。それゆえ、[沈殿剤]/[UO₂²⁺] = 1.5, 25°C, 3 M 硝酸系で U の 70% を沈殿させ、0.5M の沈殿剤を含む 3M 硝酸水溶液で洗浄する方法を第1沈殿工程における最適沈殿処理条件として選定した。
- ・ U(VI)-Pu(IV) 共存系では、NBP 及び NProP といえども、Pu(IV) の一部が U(VI) と共沈することがわかったことから、その対策として、低疎水性のピロリドン誘導体 (2-ピロリドン, N-メチル-2-ピロリドン), N,N-ジメチルホルムアミド, N,N-ジメチルacetアミド, シュウ酸をマスキング剤として添加する方法, 沈殿剤を硝酸で希釈して添加する方法, 攪拌操作の改善について検討した。
- マスキング剤添加法により沈殿剤添加初期において Pu(IV) の沈殿形成を抑制しうること、また攪拌の効率化により Pu(IV) 共沈を防げることがわかった。そこで、共沈対策として第1沈殿工程に攪拌を十分行うための熟成槽を設けることとした。

【1.1.2 NCP による沈殿条件の最適化】

- ・第2沈殿工程用候補沈殿剤である NCP の沈殿条件の最適化を図るため、第1沈殿工程からの液を想定し、 $[NCP]/[UO_2^{2+}]$ 及び過剰 NBP あるいは NProP 量をパラメーターとして、沈殿挙動を把握した。
- 第2沈殿工程への供給液に第1沈殿工程の沈殿剤が混入しても、NCP による沈殿処理に影響を及ぼさないこと、Mo(VI)と Re(VII)以外の DF が100以上を達成しうることが確認できた。これらの知見から、NCP を用いた第2沈殿工程における最適条件として、硝酸濃度 3.6M, U(VI)濃度 0.6M において、NCP を $[NCP]/[U(VI)] = 2.5$ になるよう添加する方法を選定した。

【1.1.3 Pu(IV)沈殿能に関する予備検討】

- ・NBP, NProP, NCP による Pu(IV)の沈殿性の予備検討として、U(IV)を Pu(IV)の模擬化学種として、3 M 硝酸水溶液中の U(IV) (0.15 M) の NBP, NProP による沈殿性を調べた。
- 得られた結果をPuを用いた試験及びマスキング剤添加効果試験に反映させた。

【1.2 新規高選択・制御性沈殿剤等の開発】

【1.2.1 新規低配位性・低疎水性沈殿剤の開発】

- ・第1沈殿工程用の新規沈殿剤候補として、*N-iso*-ブチル-2-ピロリドン(NiBP), *N-sec*-ブチル-2-ピロリドン(NsecBP), *N-tert*-ブチル-2-ピロリドン(NtBP)を合成し、1.5 M の UO_2^{2+} を含む 3.0M 硝酸水溶液を用い、沈殿能・沈殿性状を検討するとともに、他の候補沈殿剤と比較した。
- 新規沈殿剤のうち、沈殿性、ろ過性等から NiBP が第1沈殿工程の沈殿剤候補になりうることを見出したが、NiBP の場合攪拌に伴い粘性が増加すること、U(VI)-NProP 沈殿物の溶解度が高いこと等から、NBP を第1沈殿剤の主候補に選定した。

【1.2.2 新規高配位性・高疎水性沈殿剤の開発】

- ・第2沈殿工程用の新規沈殿剤候補を選定するため、ピロリドン誘導体 (NRP, Fig. 3 参照) を15種類(アルキル基 (R) を置換したもの) 合成し、 $[UO_2^{2+}] = 0.5M$, $[HNO_3] = 3 M$, $[NRP]/[UO_2^{2+}] = 2.0$, 温度 = 25°Cにおいて沈殿試験を行い、沈殿率、沈殿生成速度、沈殿の性状(微粉末、オイル状、固い沈殿)の観点から検討した。
- U沈殿試験のみからの判断であるが、*N*-ネオペンチル-2-ピロリドン(NNpP)と *N*-(1,2-ジメチル)プロピル-2-ピロリドン(NDMProP)を NCP とともに第2沈殿工程用沈殿剤候補として選定した。

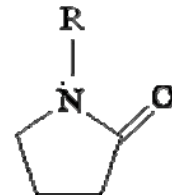


Fig. 3. NRP の構造式

R: *iso*-アミル, (1-メチル)ブチル, (1-エチル)プロピル, *tert*-アミル, ネオペンチル, (1,2-ジメチル)プロピル, (2-メチル)ブチル, (1,3-ジメチル)ブチル, (1,2,2-トリメチル)プロピル, (1-メチル)ヘキシル, (1-プロピル)ブチル, (1,4-ジメチル)ペンチル, シクロヘキシル, シクロペンチル, 2-メチルシクロヘキシル

【1.2.3 新規化合物による吸着処理法の開発】

- ・第2沈殿工程からのろ液に微量の U、Pu が混入した場合を想定し、これら核種の分離・回収用の吸着材について検討するとともに吸着材の耐久性についても検討した。
- 不溶性のポリビニルピロリドン (PVPP) が、他の金属イオン (Pd(II)は吸着する) や沈殿剤 (第2沈殿工程からの残留沈殿剤) が共存しても硝酸水溶液中の UO_2^{2+} を効率よく吸着する (吸着平衡時間: 1時間程度、

ウラン平衡吸着量：0.6 mmol/PVPP) ことがわかった。また、0.1～6M 硝酸中のPVPPに3.6 kGy/hで室温にて最大0.90MGyまでγ線照射しても、50℃の0.1～6M硝酸中に最大20日間浸漬してもU(VI)に対する吸着容量に変化が見られず、十分な耐久性があることがわかった。以上の結果から、第2沈殿工程からのろ液に含まれるU, Puの回収用吸着材としてPVPPを選定した。

【1.3 沈殿剤の耐久性及び再利用法の検討】

【1.3.1 耐放射線性及び耐熱性の検討】

(第1沈殿工程用沈殿剤)

- ・高濃度溶解液を想定した3M硝酸溶液中でのNBP及びNProPのγ線照射(線量率：4 kGy/h)試験を行うとともに、照射におけるFPの影響を調べるため、0.1 M NBP-1.8 M HNO₃-模擬FP溶液を用い、線量率10.8 kGy/hにて室温でのγ線照射試験を行った。
- 照射されたNBP, NProPのUO₂²⁺に対する沈殿能は、0.5MGyではほぼ維持され、3MGyにおいて約40～50%に低下すること、4M以上の硝酸系では照射とともにガスが発生し、6M硝酸系では0.1～0.85 MGyの照射で約70%分解することがわかった。また、FP共存系では、40 kGy (4 h)照射試料では照射終了後数日の後に懸濁が見られ、700 kGy (68 h)照射試料からは多量の沈殿生成が認められた。沈殿物の分析から、沈殿生成は沈殿剤の分解生成物であるシュウ酸によることがわかった。それゆえ、沈殿剤とFPとの長期の接触は避ける必要があると言える。
- ・NBP及びNProPの耐熱性試験を25～75℃の範囲で行った。
- 加熱によりむしろ沈殿能が増加(75℃での試験では10日以内に沈殿率が約2倍に増加)すること、またU-NBP及びU-NProP沈殿物を50℃にて8h保持したが、IRスペクトルには変化が見られず、配位したNBP, NProPは安定に存在しうることがわかった。

以上の結果より、実際の第1沈殿工程の線量率が約10 kGy/hで沈殿槽滞留時間が1h、かつ硝酸濃度2Mであることを想定すると、0.2%のみの劣化と予想され、通常運転では沈殿剤の劣化による影響はないと言える。ただし、異常時等の運転が一時的に停止した場合への対策(余剰沈殿剤の分解)が必要であることが判明した。

(第2沈殿工程用沈殿剤)

- ・Puに対する沈殿能の低いNDMProP以外のNNpPとNCPの耐久性を、3M硝酸中における13kGy/hのγ線照射及び50℃での加熱により検討した。
- いずれも0.5MGyまでの照射及び5日間の加熱においてはU(VI)に対する沈殿能は低下せず、十分な耐久性を有することがわかった。
- ・さらに、沈殿剤の劣化が生じ易いと考えられる硝酸濃度4M以上の条件でNCPとNNpPの耐久性を検討した。
- 0.1 MGyのγ線照射で共に2相分離すること、また密閉下50℃で加熱した4M硝酸系では共に3日間まで均一相を保ったが、6M硝酸系ではNCPが5日間の加熱後も均一相を保ったがNNpPは半日で2相分離することがわかった。

以上の結果から、NNpPは高濃度硝酸中での耐熱性がNCPより劣るが、硝酸濃度4M以下で使用する限り、その耐久性はほぼ同等であり、通常運転では沈殿剤の劣化による影響はないと判断した。

【1.3.2 再利用法の検討】

- ・U(VI)沈殿物の熱分析結果から、沈殿物からの沈殿剤成分の回収法と

して、熱処理による気化分離法を選定し、U(VI)-NBP, -NNpP 沈殿物に関する気化分離試験を不活性ガス流通式気化分離装置を用いて行った。

- U(VI)-NBP 沈殿では 167°Cの加熱条件で回収率約 40%、U(VI)-NNpP 沈殿では 180°Cで加熱後 190°Cへ昇温するという条件で回収率約 55 %であった。また、処理法を改善することで、回収率を向上しうることとも示唆された。

・気化分離回収した沈殿剤の繰返し利用性を検討するため、1 回目の気化分離試験で回収した沈殿剤 (NBP と NNpP) を用いて U(VI)沈殿物を調製し、気化分離回収試験を行い、また回収された NBP と NNpP の U(VI)に対する沈殿能を確認するため、約 0.5 M U(VI)水溶液に $[NRP]/[U(VI)] = 2$ となるように NRP を添加する方法で実施した。

- NBP 及び NNpP の回収率はそれぞれ約 40 %と 50 %であり、かつ回収された NBP 及び NNpP の NMR 測定から、2 回の気化分離処理をしても沈殿剤は殆ど劣化しないことがわかった。また、ニート、気化回収 1 回目及び 2 回目の NBP 沈殿剤における沈殿率はそれぞれ 83.6, 50.4, 60.8 %で、対応する NNpP 沈殿剤における沈殿率は、それぞれ 78.3, 55.0, 41.9 %であった。この沈殿率の減少は、回収時に生成した劣化物の影響と判断された。

以上の結果から、U(VI)-NBP及びU(VI)-NNpP沈殿物の最適な気化分離回収条件として、不活性ガスを $0.1 \text{ dm}^3/\text{min}$ で供給しながらそれぞれ 165-170°C, 170-180°Cで加熱する方法を選定した。また、気化分離装置を工夫することで、効率的な回収が可能となる見通しも得た。ただし、気化分離時に生じた僅かな劣化生成物が、U(VI)の沈殿率低下及びDFの低下を招くことから、沈殿剤を再利用する場合はカラム処理等で劣化生成物を除去する必要があると言える。

【1.4 TRU 核種の沈殿性検討】

【1.4.1 沈殿物構造の検討】

・Pu 沈殿物の構造を調べるため、X線回折分析のための Pu(IV), (VI)沈殿物の単結晶化を試みた。

- Pu(VI)-NNpP 及び Pu(VI)-NCP 錯体の単結晶を調製でき、これら錯体の単結晶 X 線構造解析に成功した。両錯体とも $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2(\text{NNpP})_2$ 及び $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2(\text{NCP})_2$ と同様の構造であることを明らかにした。

【1.4.2 低配位性・低疎水性沈殿剤による Pu の沈殿性検討】

・Pu のみを含む 3 M 硝酸水溶液での NBP, NiBP, NProP による Pu(IV)及び Pu(VI)の沈殿性試験を行った。

- Pu 濃度の低い溶液 (0.05 M 程度) では、過剰量の NBP, NiBP, NProP ($[NBP \text{ or } NiBP]/[Pu(IV)] = 5$, $[NBP \text{ or } NiBP]/[Pu(VI)] = 20$, $[NProP]/[Pu(IV) \text{ or } Pu(VI)] = 20$) を加えても沈殿が形成されないが、Pu 濃度が高ければ (0.1 M 程度) 過剰量の NBP, NiBP, NProP ($[NBP \text{ or } NiBP]/[Pu(IV) \text{ or } [Pu(VI)] = 2$, $[NProP]/[Pu(IV)] = 5 \text{ or } [NProP]/[Pu(VI)] = 2$) を添加することで、沈殿が形成されることがわかった。すなわち、Pu を沈殿させる能力の順は、 $\text{NCP} > \text{NBP} \approx \text{NiBP} > \text{NProP}$ である。ただし、NiBP の沈殿物は嵩高く、攪拌がし難い性状から、沈殿剤としては不適格であると判断した。

・第 1 沈殿工程の総合試験として、U(VI) (1 M)-Pu(IV) (0.1 M)-模擬 FP を含む 2 M 硝酸水溶液 (15 ml) に NBP を U の 1.8 倍量添加する試験を実施した。

- U(VI)については想定通りの沈殿率 75 %が得られたが、Pu(IV)については、洗浄後の沈殿中に 6 %の Pu が存在し、U に対する DF が 12 であり、また FP の U に対する DF も全体的に低い値 (100 以下) であった。その理由として、ろ過後の沈殿洗浄の不足が挙げられる。
- Pu 沈殿物の安定性試験として、Pu を含む溶液から生成した U(VI)-NCP 沈殿或いは U(VI)-Pu(IV)-NCP 沈殿物からの U 溶出速度期変化を調べ、 α 線照射の観点から検討した。
- 溶出速度が、U(VI)-NCP 沈殿で $0.87 \text{ mmol MGy}^{-1}$ 、U(VI)-Pu(IV)-NCP 沈殿で $0.22 \text{ mmol MGy}^{-1}$ であった。 γ 線照射では 4.0 kGy h^{-1} での照射で $3.91 \text{ mmol MGy}^{-1}$ 、 1.9 kGy h^{-1} での照射で $1.7 \text{ mmol MGy}^{-1}$ であったことから、線量率依存性の問題があるものの、 α 線照射の影響は γ 線照射の影響と根本的に違いがないことが明らかとなった。
- 【1.4.3 高配位性・高疎水性沈殿剤による Pu の沈殿性検討】
- 第 2 沈殿工程を想定し、0.5 M の U(VI) と 0.17 M の Pu(IV) を含む 3.7M 硝酸水溶液を用い、沈殿剤 (NCP, NNpP, NDMProP) 添加量をパラメーターとして U 及び Pu の沈殿挙動を調べた。
- $[\text{沈殿剤}]/[\text{U}+\text{Pu}] = 2.5$ において、U(VI)の沈殿率は 3 種のいずれの沈殿剤であっても 99.9%となり、Pu(IV)の沈殿率は NNpP 及び NCP では 99%以上で、NDMProP では 79%とやや劣った。沈殿の性状としては、Pu(IV)が沈殿することによる粘性の増加がどの沈殿剤でも観測されたが、NNpP の沈殿はその程度が最も低く、最も攪拌し易い沈殿であった。それゆえ、第 2 沈殿工程の沈殿剤として、3 種の沈殿剤のうち NNpP が最も優れていると判断した。
- 第 2 沈殿工程の総合試験として、第 1 沈殿工程総合試験で得られたろ液及び洗浄ろ液を減圧加熱による未沸騰条件で 1.64 倍に濃縮した溶液 ($[\text{U(VI)}] = 0.155 \text{ M}$, $[\text{Pu(VI,IV)}] = 0.07 \text{ M}$, $[\text{HNO}_3] = 2.4 \text{ M}$) 10 ml に、沈殿剤として NNpP を添加する試験を実施した。
- U(VI)の沈殿率は NNpP 2.5 倍モル量添加において 98.2 %、3 倍モル量添加で 99.5 %であり、Pu については、77.6 %と 91.3 %とやや低い値であった。また、FP の U に対する DF も 100 以下と低いことがわかった。
- 上記試験の Pu の沈殿率が予想より低かった要因として、濃縮工程の影響 (残留沈殿剤の分解) が考えられたことから、 $[\text{U(VI)}] = 1.0 \text{ M}$, $[\text{Pu(IV)}] = 0.05 \text{ M}$, 模擬 FP を含む 2 M の硝酸水溶液へ NBP ($[\text{NBP}]/[\text{U(VI)}] = 1.8$) を添加し、沈殿・ろ過処理により得られたろ液、ろ液のみ加熱還流した溶液、ろ液と洗浄ろ液を混合して加熱濃縮した溶液を用い、NNpP による沈澱試験を $[\text{NNpP}]/[\text{U} + \text{Pu}] = 2.5, 3, 5$ の条件で行った。
- U(VI)は加熱及び洗浄ろ液の有無のいずれの条件においても $[\text{NNpP}]/[\text{U} + \text{Pu}] = 3$ 以上であれば 99 %以上の安定した沈殿率を示すこと、Pu はろ液をそのまま使用した場合最も高い沈殿率を示したが、 $[\text{NNpP}]/[\text{U} + \text{Pu}] = 5$ においても 94.2 %であり全量回収には至らないこと、ろ液をそのままあるいは洗浄ろ液を加えて加熱濃縮した場合でも、Pu(IV)の沈殿率は明らかに低いことがわかった。これより残留沈殿剤の加熱による分解生成物の影響が示唆されるが、第 1 沈殿工程における沈殿物の洗浄において溶解を抑える工夫あるいは洗浄液とろ液を混ぜない方法を取ることで回避しうると言える。
- 【1.4.4 Np 沈殿分離の検討】
- Np については Np(VI)の沈殿率が最も高く、 $[\text{NNpP}]/[\text{U}+\text{Pu}+\text{Np}] = 2.6$

で 99.3% であり、Np(IV) 及び Np(V) の沈殿率は、それぞれ 90% 及び 69% であった。即ち、Np を VI 価に酸化すれば U, Pu と共に定量的に回収できることがわかった。

【1.4.5 実燃料溶解液による沈殿試験】

- ・第 1 及び第 2 沈殿工程の一連のプロセスについて、実燃料溶解液による沈殿試験を実施した。なお、試験に用いた溶液組成は、第 1 沈殿工程：[U(VI)] = 0.94 M, [Pu(IV)] = 5.2×10^{-2} M, FP 等, [HNO₃] = 2.2 M, [NBP]/[U] = 1.8, 液量 = 20ml; 第 2 沈殿工程：[U(VI)] = 0.21 M, [Pu(IV)] = 1.2×10^{-2} M, [Pu(VI)] = 2.2×10^{-2} M, FP 等, [HNO₃] = 3.7 M, [NNpP]/[U+Pu] = 2.5, 液量 = 20ml である。
- 第 1 沈殿工程における U は、沈殿中に 70%, ろ液中に 13.4% であり、沈殿洗浄を加味した想定通りの沈殿率であった。一方、Pu はろ液と洗浄ろ液に大半が移行し、U に対する DF は 7 であった。また、FP の U に対する DF が 6~63 と比較的低い値であった。この原因の一つに、沈殿物に洗浄液が均一に添加されなかったことが挙げられ、改善可能である。
- 第 2 沈殿工程における U の沈殿率は 99.4% であり、Pu は大部分がろ液及び洗浄ろ液に移行しており、沈殿中には全 Pu の約 5% が見出されただけである。また、第 2 沈殿工程における FP の DF は、殆どの元素について第 1 沈殿工程よりも向上したが、これは実験操作上の工夫で洗浄が適切になされたことによる。沈殿が十分に洗浄されればほぼ想定通りの DF が得られると言える。
- ・第 2 沈殿工程における Pu の沈殿率が低い原因について、1.4.3 における U-Pu-模擬 FP 共存溶液を用いた濃縮工程影響試験の結果に基づき考察した。
 - ①第 1 沈殿工程残留沈殿剤の高濃度での存在及び残留沈殿剤の放射線及び加熱によって生成した分解生成物の Pu(IV) との錯形成、②Pu が低濃度であったこと、③FP の共存、④加熱による Pu(VI) の生成と Pu(VI) では Pu(IV) よりも U(VI) 共存系においてより多くの沈殿剤を必要とすること、⑤沈殿洗浄液による Pu の再溶解の複合的影響であると推定した。
 - ①及び⑤の影響については、実際の遠心沈降機では洗浄操作における沈殿の再溶解が少ないことから実プラントでは緩和され、②は高速炉燃料の処理においては避けられる。③は回避できないが④とともに、沈殿剤添加量を適切にすることで対処できると判断される。
- 即ち、実プロセスでは、高速炉燃料を対象とし Pu 濃度が高いこと、遠心沈降機を用いて固液分離・沈殿洗浄を行うため沈殿の再溶解が少なく第 2 沈殿工程における第 1 沈殿工程からの残留沈殿剤量が少なく、Pu 再溶解も抑制でき、かつ沈殿剤の添加量を適切に増加させることから、当初の目標の第 2 沈殿工程における Pu の沈殿率が得られると期待される。

【2. 高度化沈殿システムにおける工学的技術開発】

【2.1 沈殿システムの検討】

【2.1.1 新規高選択・制御性沈殿剤の工学的適用性検討】

- ・第 1 沈殿工程用候補沈殿剤である NBP, NProP を用い、実機と同タイプの試験装置を用いた連続沈殿試験 ([U(VI)] = 1.5 M, [沈殿剤]/[U] = 1.4 と 2.0, 槽内反応時間 = 約 0.4h と約 0.8h) と固液分離装置による分離試験を行った。

- 何れの設定条件でも NBP, NProP では良好な性状の沈殿物が得られ、2～4 h の連続沈殿操作が滞りなく行われることが確認され、また、得られた試料の含水率が約 10%程度であり、分離液中の固体濃度は約 0.02%程度となること、沈殿の 2 倍量の洗浄液(2 M 硝酸水溶液)を用いることで目標とする DF 100 を達成しうることがわかった。

以上の結果から、NBP, NProP は、第 1 沈殿工程における連続沈殿操作への工学的適用性を有することが確認できた。

・ 第 2 沈殿工程用候補沈殿剤である NNpP, NDMProP を使い、第 2 沈殿工程を想定した条件 ($[U(VI)] = 0.5 \text{ M}$, $[\text{沈殿剤}]/[U] = 2.4$, 槽内反応(滞留)時間 = 0.5 h) において連続沈殿試験を行い、生成した U(VI)-NNpP 及び U(VI)-NDMProP の沈殿スラリーを用いた固液分離・洗浄試験(条件: 供給流量 90 L/h, 洗浄液流量 30 L/h, 洗浄液硝酸濃度 0.5 M)を行った。

- 良好な性状の沈殿物が得られ、U 沈殿率が 99%以上であることが確認された。また、固液分離操作は閉塞等の事象は なく安定に行われ、固液分離後の含水率は NNpP 沈殿で約 10 wt%, NDMProP 沈殿で約 15 wt%で NCP と同等の操作性の良い粉末が得られこと、DF が U(VI)-NNpP 沈殿系で約 120、U(VI)-NDMProP 沈殿系で約 90 であることがわかった。

以上の結果から、U(VI)-NNpP 及び U(VI)-NDMProP 沈殿スラリーいずれも第 2 沈殿工程における固液分離・洗浄処理への工学的適用性を有することが確認できた。

【2. 1. 2 沈殿及び固液分離装置システムの信頼性検討】

・ 第 1 沈殿工程では、Pu(IV)が一旦 U(VI)と共沈した後再溶解するとの知見から、Pu(IV)を沈殿から分離させるため、沈殿槽の後に熟成槽を設けることとした。そこで、U+模擬 FP(Sr, Eu)含有硝酸水溶液を用い、実機プロセス(実機と同タイプの沈殿槽及び熟成槽、遠心固液分離機)模擬試験を行った。

- 第 1 沈殿工程を想定した 1.5 M の U(硝酸ウラニルとして)と 2.0 g/dm³ の Sr, Eu を含む 2.0 M の HNO₃ 水溶液に NBP を過剰率 2%で供給する 7 h の連続沈殿試験から、設定通りの U 反応率(70%)が得られること、円滑・安定に連続運転が行うこと、遠心沈降機により固液分離・洗浄処理(沈殿重量に対して 2 倍量の 1 M HNO₃ 溶液)を行うことで、Sr, Eu に対する DF として約 10²を達成しうることがわかった。

- 第 2 沈殿工程を想定した 0.5 M の U, 2.0 g/dm³ の Sr, Eu 及び NBP を含む 3.5 M HNO₃ 水溶液に NNpP を過剰率 20%で供給する 7 h の連続試験から、安定した運転で良好な性状の沈殿が生成され、想定通りの高い U 反応率(99.8%)を達成しうること、遠心沈降機により固液分離・洗浄処理(沈殿重量に対して 1 倍量の 1 M HNO₃ 溶液)を行うことで、Sr, Eu に対する DF として約 10²が得られることがわかった。

以上のことから、沈殿・洗浄操作における適正条件を次の通りとした。

- 第 1 沈殿工程では、1.5 M の U, 0.17 M の Pu を含む 2 M HNO₃ 原料溶液に対し、U 沈殿当量の 1.03 倍の NBP を添加し、沈殿槽に 1 h 反応させ、かつ熟成槽にて 1 h で熟成させる。次いで、遠心沈降機に 1 M HNO₃ 溶液を沈殿体積の 2 倍量供給して沈殿の洗浄・分離を行う。

- 第 2 沈殿工程では、ウラン濃度 0.5 M, Pu濃度 0.21 M, HNO₃溶液濃度 3.7 M の原料溶液に対し、U 及び Pu の沈殿当量の 1.25 倍の NNpP を添加し沈殿槽にて滞留時間 1 h で反応させる。次いで、遠心沈降機に 1 M HNO₃ 溶液を沈殿体積の 1 倍量供給して沈殿の洗浄・分離を行う。

【2.2 燃料化検討】

【2.2.1 燃料化適用性基礎試験】

- ・第1沈殿工程のU沈殿物 (U(VI)-NBP, U(VI)-NiBP, U(VI)-NProP 沈殿物) 及び第2沈殿工程のU沈殿物 (U(VI)-NNpP, U(VI)-NDMProP 沈殿物) について、熱天秤, GC-MAS, ボート炉を用いた熱分解試験を行った。
 - いずれの沈殿物においても、160°C付近で液化・沈殿剤成分の蒸発、200–350°Cで硝酸根の分解、350–500°Cで残留有機物の分解及びウラン酸化物への転換の3段階で熱分解反応が進むこと、各沈殿物を空気雰囲気、500°C以上の条件で処理して得られた U_3O_8 粉末中の残留炭素濃度は、数 1,000 ppm 程度まで低減可能であることがわかった。ただし、U(VI)-NDMProP 沈殿物では、60–70°Cで液化し沈殿剤成分の蒸発を起こすことがわかった。
 - ・各沈殿物を用いた焙焼還元–成型–ペレット化（焼結）の一連ペレット化試験を行った。
 - いずれの沈殿物から調製した UO_2 も特に問題なくペレットに成型・焼結することができ、炭素濃度が 100 ppm 程度、焼結密度約 80–90% のペレットを製造できることを確認した。
- 以上の結果から、燃料化工程として、沈殿剤の熱分解工程（～500°C）、微量残留する炭素を除去する焙焼工程（～800°C）、水素還元して UO_2 粉末する工程の3段階とすることが適当であることがわかった。

【2.2.2 酸化物転換装置システム試験】

- ・2.2.1の燃料化基礎試験に基づき、実機酸化転換装置システムとして適用可能な装置方式を選定し、ニーダー型熱分解装置による試験を行うとともに、第1及び第2沈殿工程の遠心沈降機で固液分離・洗浄されたU沈殿物 (U(VI)-NBP, U(VI)-NNpP) を乾燥・粉砕したものを原料とし、ペレット化までの一連の試験を行った。
 - ニーダー型熱分解装置を用いて 300 °C で 5 h 加熱処理し、U 硝酸塩の脱硝を行ったところ、得られた粉体は UO_3 であり、脱硝反応が完全に行われることを確認した。
 - この脱硝粉を用いて 800 °C の Air 雰囲気中で 2 h の焙焼処理を行い U_3O_8 とし、その後 650 °C の wet- H_2 雰囲気にて 2 h の還元処理を行ったところ、得られた粉体は UO_2 であり焙焼・還元反応が完全に行われることを確認した。なお、残留炭素濃度は、焙焼終了後が約 200 ppm、還元終了後は 100 ppm 以下である。
 - 焙焼・還元により得た UO_2 粉末を原料とし、燃料ペレット成形及び 1750°C の wet- H_2 雰囲気での 4 h の焼結処理を行ったところ、割れ・欠けがなく、かつ焼結密度 85–90%、残量炭素濃度 100ppm 以下のペレットが得られることがわかった。なお、炭素含有率は、もんじゅの炉心燃料ペレットに対する仕様 (300 ppm) 及び軽水炉ウラン燃料における基準 (100 ppm) を下回るものである。
- 以上の結果より、U沈殿物を原料として目標とする仕様の燃料ペレットを調製しうることが確認できた。

【3. プロセス検討】

【3.1 主工程等の検討】

【3.1.1 高度化沈殿法による再処理主工程・燃料化工程の検討】

- ・基盤技術及び工学的技術開発において得られた成果に基づき、本提案

	<p>沈殿法再処理システム（FBR 使用済燃料：200 t/y, 稼働日：200 d/y, 回収率：99%以上）におけるブロックフロー図, プロセスフロー図, 物質収支図, 系列数の検討を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 第 1 沈殿工程の沈殿剤として、Pu に対する低沈殿能, 除染性の高さ, 運転性（取扱性）の良さから、NBP を用いることとする。 - 第 1 沈殿・分離処理工程においては、溶解液（$[U(VI)] = 1.5 \text{ M}$, $[HNO_3] = 2 \text{ M}$）を沈殿剤量 = U 沈殿量当量の 1.03 倍, 沈殿槽滞留時間 = 1 h（熟性槽を設置）で処理し、沈殿物を 1 M の硝酸で洗浄する。沈殿槽, 熟成槽, 遠心分離機：3 系列 - U 沈殿物の乾燥・粉碎工程においては、100°C で 2 h 処理で乾燥した後、粉碎する。乾燥炉・粉碎机：2 系列 - U 沈殿剤成分を回収するため、170°C で 2 h 処理する。蒸発炉：2 系列 - U 酸化物へ転換処理工程においては、300°C にて 6 h 保持することで脱硝し、800°C で焙焼炉した後、650°C にて 5% 水素で還元する。脱硝炉：2 系列, 焙焼炉：2 系列, 還元炉：4 系列 - 第 1 沈殿工程のろ液及び洗浄液を濃縮し、U(VI)濃度として 0.5M とする。濃縮系：1 系列 - 第 2 沈殿工程の沈殿剤として、Pu に対する高沈殿能, 沈殿物の粘性の低さ, 洗浄性の良さ, 沈殿物からの沈殿成分の蒸発分離のし易さから、NNpP を用いることとする。 - 第 2 沈殿・分離処理工程においては、濃縮液（$[U(VI)] = 0.5 \text{ M}$, $[HNO_3] = 3.7 \text{ M}$）を沈殿剤量 = U, Pu 沈殿量当量の 1.25 倍, 沈殿槽滞留時間 = 1 h で処理し、沈殿物を 1 M 硝酸で洗浄する。沈殿槽, 熟成槽, 遠心分離機：2 系列 - U, Pu 共沈殿物の乾燥から還元処理し U, Pu の混合酸化物粉体の調製までの工程は、第 1 沈殿工程と処理条件及び系列数も同等とする。 <p>【3.1.2 高度化沈殿法による再処理付帯工程の検討】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・再処理主工程からの廃液処理工程について、採用するプロセスの検討を行った。 - 再処理主工程からは第 2 沈殿工程からの廃液と第 2 沈殿工程前の溶液濃縮での凝縮液の 2 種類の廃液が発生する。 - 第 2 沈殿工程からの廃液については、混入する U, Pu を PVPP で吸着処理した後、残留沈殿剤をナノフィルター膜で分離し、膜分離後の廃液中の微量残留沈殿剤は過酸化水素とオゾンを用いた促進酸化法で分解することとする。 - 残留沈殿剤分解後の廃液は、高レベル系廃液処理として濃縮缶で溶液濃縮を行い、濃縮分はガラス固化し、蒸発分は蒸発プロセスと蒸留プロセスを組み合わせて硝酸回収を行う方法を採用する。 - 第 2 沈殿工程前の溶液濃縮での凝縮液は、低レベル廃液処理として蒸留を行い、濃縮分は硝酸回収系の原料へリサイクルし、蒸発分は海洋放出系へ送るプロセスを採用する。 <p>【3.2 プロセス成立性検討】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高度化沈殿法再処理システムについて、技術的成立性, 安全性, 経済性, 資源有効利用性, 環境負荷低減性, 核拡散抵抗性及び保守性等の観点から検討し、その成立性を評価した。 - 洗浄条件により DF が 100 以下になる核種があること、第 2 沈殿工程における Pu の沈殿率が低いこと等が重要な課題であり、実機に近い装置を用いた Pu 含有硝酸水溶液あるいは実燃料溶解液を用いた試験
--	--

	<p>による確認が必要である。</p> <ul style="list-style-type: none"> - 有機系沈殿剤を含む溶液を加熱濃縮する工程を有するが、加熱蒸気温度を 120°C以下とすること、減圧下で濃縮して操作温度を低くすること等で、化学的安全性を担保しうる。 - 主要機器 125 基、セル容積約 18,500m³、沈殿剤の使用量 NBP:33.1 t/y、NNpP : 45.8 t/y、PVPP 吸着剤使用量 11 t/y、運転人員約 150 人と算定され、コンパクト化が図られるが、薬品費で経済性に負担を招く可能性がある。 - U 及び Pu が 99.8%以上、Np が 93.8%以上と高い回収率が得られ、資源利用を有効に行いうる。 - 特別な廃液の発生はなく、発生量も多くないものと判断され、また沈殿剤も約 80%再使用できる見通しが得られ、環境負荷低減に貢献しうる。 - 本プロセスで得られる分離 U、分離 Pu・U は、低除染で FP 等を多く含むため、盗難が困難であることから核拡散抵抗性において優位性がある。 - プロセス内の可動部を有する機器をインセルクレーンやパワーマニピュレータを用いて保守エリアへ搬出しうるようなスペースを設け配置可能であることから、十分な保守性が確保できる。 <p>以上より、いくつかの課題はあるが、再処理システムとして成立しうるものと判断される。</p> <p>【4. 総合評価】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本提案高度化沈殿法再処理システムに関し、プロセスフロー及びプロセス条件を反映した物質収支を確定し、技術的成立性、安全性、経済性、資源有効利用性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性、保守性等について総合的に評価し、かつ先進湿式法と比較した。また、実用化に向けた開発課題の検討・整理を行った。 <p>(総合的評価)</p> <ul style="list-style-type: none"> -3.2 のプロセス成立性検討において述べたように、実機に近い装置を用いた Pu 含有硝酸水溶液あるいは実燃料溶解液を用いた試験によるデータを取得し、これまでの小規模試験の結果を確認する必要があるが、本提案再処理プロセスの技術的成立性が高いと評価しうる。 <p>(先進湿式法と比較)</p> <ul style="list-style-type: none"> -主工程の主要機器数はほぼ同等で、高度化沈殿法の機器配置が中間製品等を重力流により移送する縦長の配置であり、セル容積は先進湿式法より小さくなる可能性がある。 -高度化沈殿法の沈殿剤と硝酸の使用量が多く、特に沈殿剤は高価であるため直接運転費に影響することが懸念される。 -高度化沈殿法の開発段階が先進湿式法に到達していないこともあり、一概に優劣をつけ難いが、現段階において再処理システムとして解決不可能な課題はないものと判断される。 <p>(実用化に向けた開発課題)</p> <ul style="list-style-type: none"> -これまで U による試験が主で、Pu や実溶解液を用いた試験は極限られた条件でしか実施できていない。実用化に向けたステップとして、Pu や実溶解液を用いた試験によるデータ取得が最重要課題である。 -Am と Cm は、当該プロセスの中では回収されず、ほぼ全量廃液中に移行することになるため、別途 MA 回収工程を設けて回収することになるが、共存する沈殿剤の影響について検討する必要がある。
--	--

-廃液処理等の再処理付帯工程については、調査及び検討の段階であり、沈殿残液中のU及びPuの吸着、廃液中余剰沈殿剤の膜分離、廃液中微量沈殿剤の分解等について試験により検討する必要がある。

【5. まとめ、評価】

本プロセスの導入効果について、本研究の開発目標の観点から評価した。

- ①工程の更なる簡素化：第2沈殿工程前の濃縮工程を省くことができないが、完璧なPuの価数調整を考慮する必要がなく、工程管理の簡素化が図られる。
- ②廃棄物発生量の低減及び設備のコンパクト化：高濃度溶解液の使用が可能となり工程内取扱溶液量の低減化、沈殿剤の再利用が可能となったことで、設置建屋のコンパクト化、廃棄物量の低減化が図られる。
- ③環境負荷の低減：沈殿剤の約80%を再利用可能なこと、廃液中の沈殿剤成分の全量分解処理の見通しが得られたことから、環境負荷の低減化が図られる。

これらの評価結果より、高度化沈殿法のプロセスが再処理システムとして成立しうるものであり、FBR再処理システムの候補となり得ると判断した。

【事業全体】を通して

各種ピロリドン誘導体（疎水性の異なるもの）を合成したことから、Uに対する沈殿能だけでなく、抽出能についても検討することができた。その結果として、TBPに代わるC, H, O, Nのみからなる UO_2^{2+} のみを選択的に抽出しうる抽出剤の開発へと発展させうる見通しが得られた。

【得られた成果の外部発表】

(論文)

- Y. Morita, Y. Kawata, Y. Ikeda, *et al.*, “A Study on Precipitation Behavior of Plutonium and Other Transuranium Elements with *N*-Cyclohexyl-2-pyrrolidone for Development of a Simple Reprocessing Process,” *J. Nucl. Sci. Technol.*, **44**, 354-360 (2007).
- K. Takao, *et al.*, “Molecular and Crystal Structures of Uranyl Nitrate Complexes with *N*-Alkylated-2-pyrrolidone Derivatives: Design and Optimization of Promising Precipitant for Uranyl Ion,” *Crystal Growth & Design*, **8**, 2364-2376 (2008).
- K. Takao, K. Noda, Y. Ikeda, *et al.*, “Solubility of Uranyl Nitrate Precipitates with *N*-Alkyl-2-pyrrolidone Derivatives (Alkyl = *n*-Propyl, *n*-Butyl, *iso*-Nutyl, and Cyclohexyl),” *J. Nucl. Sci. Technol.*, **46**, 995-999 (2009).
- Y. Morita, K. Takao, *et al.*, “Development of Advanced Reprocessing System Based on Precipitation Method Using Pyrrolidone Derivatives as Precipitants-Precipitation Behavior of U(VI), Pu(IV), and Pu(VI) by Pyrrolidone Derivatives with Low Hydrophobicity-,” *J. Nucl. Sci. Technol.*, **46**, 1129-1136 (2009).
- M. Nogami, Y. Sugiyama, Y. Ikeda, *et al.*, “Adsorptivity of Polyvinylpyrrolidone for Selective Separation of U(VI) from Nitric Acid Media,” *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **283**, 541-546 (2010).

- S-Y. Kim, K. Takao, Y. Ikeda, *et al.*, “Molecular and Crystal Structures of Plutonyl(VI) Nitrate Complexes with *N*-Alkylated 2-Pyrrolidone Derivatives: Cocrystallization Potentiality of U(VI) and Pu(VI) for Uniform MOX Fuel Precursor,” *Crystal Growth & Design*, **10**, 2033-2036 (2010).

(国際会議での発表) 以下を含め 6 件

- Y. Ikeda, Y. Morita, K. Nishimura, *et al.*, “Development of Advanced Reprocessing System Based on Use of Pyrrolidone Derivatives as Novel Precipitants with High Selectivity and Control Ability (1) - Concept of Advanced Reprocessing System and Basic Precipitation Experiments -,” Global 2007.
- Y. Morita, S.-Y. Kim, Y. Ikeda, *et al.*, “Development of an Advanced Reprocessing System Based on Use of Pyrrolidone Derivatives as Novel Precipitants with High Selectivity and Control Ability (2)- Precipitation Behavior of Plutonium -,” Global 2007.
- Y. Morita, S.-Y. Kim, *et al.*, “Development of Advanced Reprocessing System Using Highly Selective and Controllable Precipitants -Precipitation Behavior of Plutonium from U-Pu Solution-,” Global 2009, Paris, France, September 6-11, 2009.

(国内学会での発表) 以下を含め 19 件

- 鷹尾康一郎, 野田恭子, *et al.*, “高選択・制御性沈殿剤による高度化沈殿法再処理システムの開発 (3) ピロリドン誘導体の UO_2^{2+} 沈殿剤としての性能評価指針 -結晶学的観点より-,” 日本原子力学会 秋の大会 (2007).
- 金 聖潤, 川田善尚, 森田泰治, 池田泰久, 西村建二, “高選択・制御性沈殿剤による高度化沈殿法再処理システムの開発 (4) -新規沈殿剤による Pu 沈殿性の検討-,” 日本原子力学会 秋の大会 (2007).
- 森田泰治, 金 聖潤, 池田泰久, 野上雅伸, 西村建二, “高選択・制御性沈殿剤による高度化沈殿法再処理システムの開発 (5) - α 線照射に対する沈殿物の安定性についての検討-,” 日本原子力学会 秋の大会 (2007).
- 柴原孝宏, 近沢孝弘, 菊池俊明, *et al.*, “高選択・制御性沈殿剤による高度化沈殿法再処理システムの開発 (6) -ウラン-ピロリドン化合物の熱分解挙動及び燃料化手法の検討-,” 日本原子力学会 秋の大会 (2007).
- 鷹尾康一郎, 野田恭子, *et al.*, “高選択・制御性沈殿剤による高度化沈殿法再処理システムの開発 (7) 新規高疎水性沈殿剤及び NCP による U(VI) 沈殿挙動,” 日本原子力学会 春の年会 (2008).
- 森田泰治, 金 聖潤, 川田善尚, *et al.*, “高選択・制御性沈殿剤による高度化沈殿法再処理システムの開発 (8) -新規高疎水性沈殿剤による U-Pu 共沈挙動,” 日本原子力学会 春の年会 (2008).
- 森田泰治, 金 聖潤, 池田泰久, 野上雅伸, 西村建二, “高選択・制御性沈殿剤による高度化沈殿法再処理システムの開発 (9) -新規ピロリドン系沈殿剤の耐放射線性及び耐熱性の検討-,” 日本原子力学会 春の年会 (2008).
- 野上雅伸, 鷹尾康一郎, 杉山雄一, *et al.*, “高選択・制御性沈殿剤による高度化沈殿法再処理システムの開発-(10) マスキング剤存在下における U(IV) の沈殿挙動の検討-,” 日本原子力学会 秋の大会 (2008).
- 金 聖潤, 芳賀芳範, 山本悦嗣, *et al.*, “高選択・制御性沈殿剤による高度化沈殿法再処理システムの開発-(11) ピロリドン誘導体を有する硝酸プラトニル錯体の構造解析-,” 日本原子力学会 秋の大会 (2008).
- 川田善尚, 金 聖潤, 佐藤真人, 森田泰治, 池田泰久, 菊池俊明, “高選択・

	<p>制御性沈殿剤による高度化沈殿法再処理システムの開発;(12) 実燃料溶解液による沈殿試験,”日本原子力学会 春の年会 (2009).</p> <ul style="list-style-type: none"> 柴原孝宏、長田正信、近沢孝弘、<i>et al.</i>, “高選択・制御性沈殿剤による高度化沈殿法再処理システムの開発;(13) ウラン(VI)-ピロリドン化合物の熱分解挙動及び燃料化手法の検討,” 2009年日本原子力学会 春の年会 (2009). 川崎武志、野上雅伸、杉山雄一、<i>et al.</i>, “高選択・制御性沈殿剤による高度化沈殿法再処理システムの開発;(14) 気化分離法によるピロリドン系沈殿剤の再利用性検討,” 日本原子力学会 春の年会 (2009).
<p>3. 事後評価</p> <ul style="list-style-type: none"> 研究開発の進捗 研究開発の成果 ブレイクスルー 	<p>【研究開発の進捗】</p> <ul style="list-style-type: none"> 沈殿剤の系統的な開発や段階的な条件検討が計画され、また、一部では反応機構の基礎的検討にも取り組むなど、優れた計画性と遂行力をもって研究は計画通りに実施された。 <p>【研究開発の成果】</p> <ul style="list-style-type: none"> 沈殿反応の特徴を生かした取り組みであり、UおよびPuの簡便な回収方法としての適用可能性が示された総合的成果となっている。 「TRU核種の沈殿性検討」においては、ホットフィールド下での実証試験の中でも、第1沈殿工程の総合試験で、U(VI)について想定どおりの沈殿率が得られたこと、第2沈殿工程でPu(IV)の沈殿率がNNpP及びNCPで当初目標の確証データが得られたことは、本システム開発が簡易再処理システムの構築に期待を高めたと言える。 プロセス検討では、再処理システム全体にわたって検討を進めており、本研究成果に安全設計が加われば概念設計のレベルに達していることになるが、フローシートスタディのパラメータ設定に必要なDF等のデータ数が少ないため、実燃料溶解液を用いる実験データをさらに蓄積し、信頼性を高めていくことが必要である。 <p>【ブレイクスルー】</p> <ul style="list-style-type: none"> 先進湿式晶析法に対する一つの競争相手として技術を相互に切磋琢磨する、あるいは先進法と本法をうまくミックスして良いところを組み合わせるなどを含めて、今後の発展が期待される。 第2沈殿工程での低いPu沈殿率や沈殿剤の低い回収率などの改善については、今後解決していかなければならない課題である。
<p>4. その他</p>	