

晶析ウラン結晶の移送性確認試験

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2003年2月

三菱マテリアル株式会社

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

電話：029-282-1122(代表)
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

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)
2003

晶析ウラン結晶の移送性確認試験 (核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

山崎和彦* 近沢孝弘* 田巻喜久*

要 旨

晶析法は、新たな試薬を使用せずに、不純物を含む大量の U 溶液から、U のみを部分的に回収できることから、PUREX 法を基盤とする再処理技術に適合すると思われる。これまでに小規模試験を実施し、硝酸ウラニル結晶が得られることが確認されている。

晶析工程の製品である硝酸ウラニルを脱硝転換工程に導入する場合、晶析法の利点を保つ上で、結晶もしくは熔融塩として次工程に搬送するのが望ましい。結晶として搬送する場合、晶析工程出口における製品の状態や粉体物性等は、その移送設備や貯蔵設備を検討する上で非常に重要である。

本試験では、結晶をそのまま脱硝転換工程へ移送する際の工程間の移送に係る機器等の設計に役立つデータを取得するため、粉体のハンドリングを検討する際に広く用いられている Carr の流動性指数を評価した。更に、試験により得られた結果に基づき、ウラン結晶のままで晶析工程出口から脱硝転換工程への移送や貯蔵等を行う場合のハンドリング装置の適性を調査した。

本報告書は、三菱マテリアル株式会社が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務成果に関するものである。

機構担当部課室：東海事業所 環境保全・研究開発センター

先進リサイクル研究開発部 先進再処理技術開発グループ

*三菱マテリアル株式会社

The study of the feeding and conveying of UNH crystal
(Document Prepared by Other Institute, Based on The Contract)

Kazuhiko Yamasaki*, Takahiro Chikazawa* and Yoshihisa Tamaki*

Abstract

Crystallization procedure is considered to have an adaptability to new reprocessing process based on the PUREX process because it has an advantage in recovering rather pure uranium from contaminated uranium solution without any reagents. Up to now, a small-scale uranium test has been performed to confirm an applicability of crystallization.

Hydrated uranyl nitrate (UNH) crystal from crystallization procedure is fed to the conversion process into UO_2 for the fabrication of nuclear fuel. UNH crystal as feed material has the advantage over UNH solution because any reagents aren't needed in the conversion process. Therefore we will develop an apparatus for storing and conveying UNH crystal to the conversion process. Flowability of UNH crystal is very important to design the apparatus. Carr's fluidity index is one of the most common expressions for the flowability of powders.

In this study, we estimated Carr's fluidity index of UNH crystal. Based on the Carr's fluidity index, we investigated the adaptability of the apparatus to UNH crystal.

This work was performed by Mitsubishi Materials Corporation under the contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison : Recycle Process Technology Group, Advanced Fuel Cycle Technology Division,

Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

* Mitsubishi Materials Corporation

目次

1. はじめに	1
1.1 研究目的	1
1.2 研究内容	1
1.3 研究期間	2
1.4 研究体制	2
2. 晶析ウラン結晶の製品物性測定試験	3
2.1 試験の概要	3
2.2 試験方法	4
2.2.1 試料の調製	4
2.2.2 粉体物性値の測定	4
2.3 結果と考察	9
2.3.1 試料の外観	9
2.3.2 粉体物性の測定	11
2.3.3 考察	19
2.4 まとめ	21
3. ハンドリング装置の検討	22
3.1 本検討の概要	22
3.2 晶析法導入再処理プロセスにおけるハンドリング操作の分類	23
3.3 結晶ハンドリングに係る装置に関する調査	25
3.3.1 供給装置に関する調査	25
3.3.2 輸送装置の分類	30
3.3.3 一般工業における結晶ハンドリングの例	36
3.4 硝酸ウラニル結晶への適用へ向けた検討	41
3.4.1 供給装置の選定	41
3.4.2 輸送装置の選定	43
3.5 検討結果の考察	50
3.6 まとめ	53
4. おわりに	54
5. 参考文献	55

目 次

図 2.2.2-1	圧縮度評価の概略図	6
図 2.2.2-2	安息角評価の概略図	7
図 2.2.2-3	スパチュラ角評価の概略図	7
図 2.2.2-4	分散度評価の概略図	8
図 2.3.1-1	試料の外観	10
図 2.3.2-1	試料の外観粉体物性測定に用いた UNH 結晶の粒度分布	12
図 2.3.2-2	粉体物性測定に用いた UNH 結晶の粒径 - 篩下量の関係	13
図 2.3.2-3	かさ密度及び圧縮度の測定結果	15
図 2.3.2-4	安息角及び崩壊角測定時の外観	17
図 2.3.2-5	スパチュラ角測定時の外観	17
図 3.1.1-1	晶析法導入再処理プロセスにおける 晶析ウラン結晶のハンドリングの分類	24

表 目 次

表 2.2.1-1	遠心分離機の使用条件-----	4
表 2.2.2-1	使用した篩の一覧と使用条件-----	5
表 2.3.2-1	粉体物性測定に用いた UNH 結晶の粒度分布及び均一度-----	14
表 2.3.2-2	かさ密度及び圧縮度の測定結果-----	16
表 2.3.2-3	安息角、崩壊角及び差角の測定結果-----	16
表 2.3.2-4	スパチュラ角の測定結果-----	18
表 2.3.2-5	分散度の測定結果-----	18
表 2.3.2-6	流動性指数の評価結果-----	18
表 2.3.2-7	噴流性指数の評価結果-----	19
表 3.3.1-1	供給装置の分類-----	26
表 3.3.1-2	代表的な供給装置の構造及び対象粉体等の概要(1/3)-----	27
表 3.3.1-3	代表的な供給装置の構造及び対象粉体等の概要(2/3)-----	28
表 3.3.1-4	代表的な供給装置の構造及び対象粉体等の概要(3/3)-----	29
表 3.3.2-1	輸送装置の分類-----	31
表 3.3.2-2	代表的な輸送装置の概略(1/2)-----	32
表 3.3.2-3	代表的な輸送装置の概略(2/2)-----	33
表 3.3.2-4	代表的なスクルー形状と特徴ならびに用途-----	34
表 3.3.2-5	空気輸送装置のフローパターン-----	35
表 3.3.3-1	一般工業における結晶ハンドリング機器の例(1)-----	37
表 3.3.3-2	一般工業における結晶ハンドリング機器の例(2)-----	38
表 3.3.3-3	一般工業における結晶ハンドリング機器の例(3)-----	39
表 3.3.3-4	一般工業における結晶ハンドリング機器の例(4)-----	40
表 3.4.1-1	粉体物性と供給装置の適性-----	42
表 3.4.2-1	機械式輸送装置の選定表(1/3)-----	45
表 3.4.2-2	機械式輸送装置の選定表(2/3)-----	46
表 3.4.2-3	機械式輸送装置の選定表(3/3)-----	47
表 3.4.2-4	代表的な空気輸送方式の比較-----	48
表 3.4.2-5	空気輸送方式選定のポイント-----	49
表 3.5.1-1	供給装置に関する評価-----	51
表 3.5.1-2	輸送装置に関する評価-----	52

1. はじめに

1.1 研究目的

先進湿式再処理法では、経済性向上及び廃棄物低減の観点から、溶解液からウランのみを部分的に回収し、溶媒抽出プロセスの処理量を削減する補完要素技術として晶析法に着目している。晶析法は温度による溶解度の違いを利用しており、新たな試薬を使用しないため、PUREX 法を基盤とする再処理プロセスに適合すると思われる。これまでピーカースケールでの基礎試験を実施し、晶析法により硝酸ウラニルの結晶が得られることを確認している。

実用化戦略調査研究のフェーズ 2 では、平成 15 年度の間 C&R までに晶析法の基本的なフィージビリティを示し、平成 17 年度までに評価に資する設計に必要な情報を提供することとしており、フェーズ 2 の初年度からウラン粗分離性能評価と並行して、晶析工程の前後工程（溶解度及び脱硝転換並びにその間の搬送等）の成立性評価を行っている。

晶析工程の製品である硝酸ウラニルを脱硝転換工程に導入する場合、搬送のために水や硝酸に溶解することは、晶析法導入再処理プロセスの利点を損なうことにつながり、好ましくない。製品を結晶のまま次工程に搬送することを考慮した場合、その移送設備や貯蔵設備を設計する際に、晶析工程出口での製品の状態や物性値は、設備を検討する上で非常に重要である。

そこで結晶をそのまま脱硝転換工程へ移送する際のハンドリング評価試験を行い、工程間の移送に係る機器等の設計に役立つデータを取得する。

1.2 研究内容

(1) 晶析ウラン結晶の製品物性測定試験

晶析操作により作製した硝酸ウラニル結晶に対し、ハンドリングを考慮する際の物性を測定する。

（測定項目）

- ・ 粒度分布
- ・ 含水率
- ・ 真密度、かさ密度、圧縮度
- ・ 安息角、崩壊角、スパチュラ角
- ・ 均一度、凝集度、分散度
- ・ その他結晶ハンドリング評価に必要とされる物性

(2)ハンドリング装置の検討

粉粒体の移送に係る装置（スクリーフィーダ、気流移送等）を列挙し、試験により得られた結果からそれらの装置を用いるにあたっての優位点や問題点等を検討することにより、各装置についてのウラン結晶のまま晶析工程出口から脱硝転換工程への移送や貯蔵等に係るハンドリング装置についての適性をまとめる。

1.3 研究期間

自 平成14年 6月20日

至 平成15年 2月28日

1.4 研究体制

委託者 核燃料サイクル開発機構

受託者 三菱マテリアル株式会社

2 . 晶析ウラン結晶の製品物性測定試験

2.1 試験の概要

本節では、晶析操作により作製した硝酸ウラニル結晶に対し、ハンドリングを検討する際に重要と考えられる種々の粉体物性の評価を目的とした。試料として、晶析法によって調製した一定の粒度分布を有する硝酸ウラニル結晶を用い、含水率をパラメータとして、パウダーテスター（ホソカワミクロン社製 PT-E 型）を用いて種々の物性値を測定した。更に、評価した物性値に基づき、流動性指数を評価した。具体的には、比較的再現性が高く、流動性との関連性も優れているとされる圧縮度の測定を広範囲の含水率において行った後、複数の含水率における流動性指数の評価に必要な粉体物性の測定を行った。

2.2 試験方法

2.2.1 試料の調製

試料の調製は以下のように行った。はじめに、晶析法によって調製した一定の粒度分布を有する硝酸ウラニル結晶を準備し、これを遠心分離機によって脱水した。この際の遠心分離機の使用条件を表 2.2.1-1 に示す。以降では、この操作を行った直後の硝酸ウラニル結晶の含水率が 0wt% であるとして、含水率を定義した。

表 2.2.1-1 遠心分離機の使用条件

機器名称	H-110A (國産遠心器株式会社製)
回転数	3000 回転 / 分
脱水時間	5 分

次に、この脱水した硝酸ウラニル結晶に対し、飽和硝酸ウラニル水溶液 (濃度約 600g-U/L、密度約 1.8g/mL、遊離硝酸をごくわずかしき含まない) を添加して含水率を調整した。ここでの含水率は () のように定義される。ここで硝酸等ではなく飽和硝酸ウラニル水溶液を加えたのは、硝酸ウラニル結晶が溶解し、粒度分布が変化するのを防ぐためである。

$$\text{含水率(wt\%)} = \frac{\text{飽和硝酸ウラニル水溶液重量(g)}}{\text{(硝酸ウラニル結晶(g) + 飽和硝酸ウラニル水溶液重量(g))}} \times 100 \cdots ()$$

以降、特に断りのない場合、含水率は全て上記重量分率で表記した。

一方、含水率の表記方法には、() 式のような体積分率も考えられる。

$$\text{含水率(vol\%)} = \frac{\text{飽和硝酸ウラニル水溶液体積(mL)}}{\text{硝酸ウラニル結晶体積(mL)}} \times 100 \cdots ()$$

ここでは、硝酸ウラニル結晶体積 = 重量 / ゆるめ見掛密度 と定義した場合の値を参考値として評価した。

なお、ここで対象とした試料では、含水率 25% 程度以下であれば、静置しても固液に分離されることはなく、固体としての取扱が可能であることを確かめた。

2.2.2 粉体物性値の測定

(1) 粒度分布、平均粒径及び均一度

粒度分布の測定には、篩分法を用いた。使用した篩の一覧と使用条件を表 2.2.2-1 に示す。なお、試料には含水率 0% のものを用いた。

表 2.2.2-1 使用した篩の一覧と使用条件

篩の目開き (μm)	106,150,250,300,350,500,710,1000,1410,1680
使用条件	<p>上記の篩を秤量した。</p> <p>ミクロ型電磁振動ふるい器(筒井理化学機器株式会社製 M-2 型)に全て装荷した。</p> <p>試料 5g を最上部に加え、最大強度(目盛り 10)で 10 分間振動を加えた。</p> <p>全ての篩を秤量した後、更に同一条件で 10 分間振動させ、再度秤量し、重量変化がないことを確認した。</p>

次に、評価した粒度分布を用いて、()式から平均粒径を求めた。

$$(\text{平均粒径}) = \sum_{k=1}^n A_k \times B_k / 100 \cdots ()$$

A_k : 粒度分布における k 番目の粒径範囲の中央値

B_k : k 番目の粒径範囲に該当する結晶の重量分率 (wt-%)

n : 本粒度分布における粒径範囲の総数

更に、粒度分布から 60% 篩下の粒径と 10% 篩下の粒径をそれぞれ求め、60% 篩下の粒径を 10% 篩下の粒径で除したものを、定義に従い均一度とした。なお、60% 篩下の粒径と 10% 篩下の粒径は、粒度分布の測定結果から篩下量 (%) と粒径の関係より評価した。

(2) かさ密度 (固め見掛密度及びゆるみ見掛密度) 及び圧縮度

かさ密度及び圧縮度の評価は、パウダーテスター (ホソカワミクロン社製 PT-E 型) を用いて行った。上記機器のセッティングの詳細は、付属の取扱説明書に従った。

測定対象である硝酸ウラニル結晶は、比較的粒径が大きく粗粒とみなせるとし、取扱説明書に従い、篩を通さず、専用スコップを用いて静かに専用カップに注いだ。

(図 2.2.2-1(a)参照)

専用カップ口から結晶が溢れるまで充満させた後、付属のブレードで表面部分をすり切り、カップも含めて重量を測定した。この値から、予め測定したカップ重量を引いて結晶重量を求め、これをカップ内容積 (100mL) で除した値をゆるみ見掛密度とした。

次に、上記専用カップにキャップを継ぎ足して、パウダーテスターのタッピングホ

ルダに設置した後、結晶を更に充満させ、キャップの上にキャップカバーを取り付けた。これを 180 秒間タッピングした。(図 2.2.2-1(b)参照)

タッピング終了後、キャップ及びキャップカバーを取り外し、付属のブレードで専用カップの表面部分をすり切り、カップも含めて重量を測定した。この値から、予め測定したカップ重量を引いて結晶重量を求め、これをカップ内容積(100mL)で除した値を固め見掛密度とした。

以上 ~ の操作を三回繰り返し、得られた平均の固め見掛密度及びゆるみ見掛密度から、()式を用いて圧縮度(%)を計算した。

$$(\text{圧縮度}) = \{(\text{固め見掛密度}) - (\text{ゆるみ見掛密度})\} / (\text{固め見掛密度}) \times 100$$

・・・()

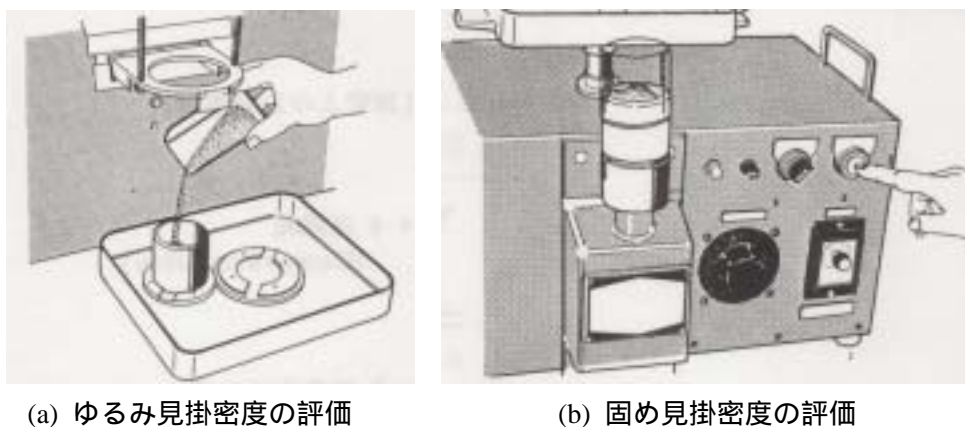


図 2.2.2-1 圧縮度評価の概略図

(3) 安息角、崩壊角及び差角

安息角、崩壊角及び差角の評価は、パウダーテスター(ホソカワミクロン社製 PT-E 型)を用いて行った。上記機器のセッティングの詳細は、付属の取扱説明書に従った。なお、ここで取り扱う試料の粒径は、(1)の測定結果から試料の 40wt% は 710 μm より大きいと考えられるため、粒度分布を維持するために指定の篩(710 μm)を用いなかった。ただし、取扱説明書では、粒径が 710 μm より大きい場合、振動及び篩を使用しなくてもよいとされるが、本試験における試料の凝集性は比較的に強いいため、レオスタットによる振動を加えた。

安息角が一定の状態に達したら、新たな試料の投入を停止した。

付属の分度器スタンドを用い、専用テーブル上に堆積した試料の稜線の傾斜角を測定し、安息角を評価した。(図 2.2.2-2 参照)

次に、ショッカーをセットし、専用テーブルをセットしたバットに三回ショックを与えた。これを三回繰り返した。このときの試料の稜線の傾斜角を再び測定し、これより崩壊角を評価した。

安息角と崩壊角の差を求め、これを差角とした。

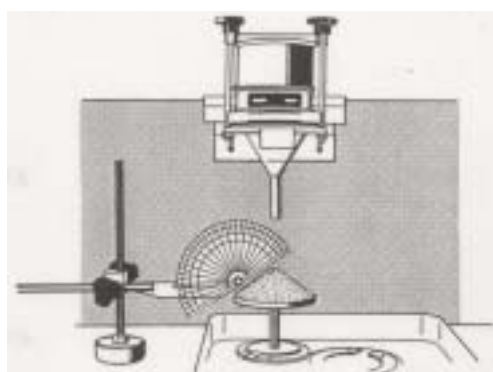


図 2.2.2-2 安息角評価の概略図

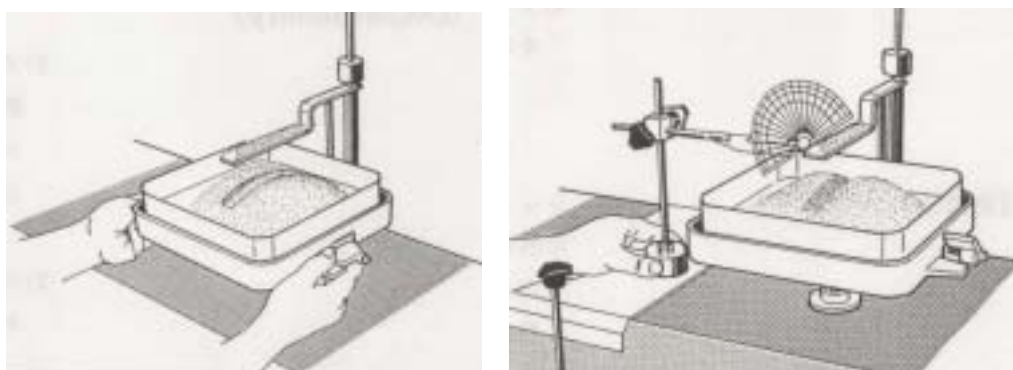
(4) スパチュラ角

スパチュラ角の評価は、パウダーテスター（ホソカワミクロン社製 PT-E 型）を用いて行った。上記機器のセッティングの詳細は、付属の取扱説明書に従った。

専用バットの上に置かれたスパチュラの上に試料を加え、スパチュラ上に試料を盛り上げた。その後、専用バットが乗った昇降台を下げ（図 2.2.2-3(a)）、付属の分度器スタンドを用いて、スパチュラ上に堆積した試料の稜線の傾斜角を測定した。（図 2.2.2-3(b)参照）

スパチュラアセンブリーに付属の錘をポールの上端に持ち上げてから落下させ、1回だけスパチュラにショックを与えた。その後、スパチュラ上の試料の傾斜角を測定した。

及び における測定値の平均をとり、これをスパチュラ角とした。



(a) バット降下操作

(b) 傾斜角の評価

図 2.2.2-3 スパチュラ角評価の概略図

(5) 分散度

分散度の評価は、パウダーテスター（ホソカワミクロン社製 PT-E 型）を用いて行った。上記機器のセッティングの詳細は、付属の取扱説明書に従った。

測定ユニット上部のホッパー部に試料 10 g を加え、レバーを下に押し、シャッターを開き、試料をウオッチグラス上に落下させた。（図 2.2.2-4 参照）

ウオッチグラス上に残った試料の重量を秤量し、式()に従って分散度を求めた。

(分散度) = {10 - (ウオッチグラス上に残った試料の重量(g))} / 10 × 100(%)・・・()



図 2.2.2-4 分散度評価の概略図

2.3 結果と考察

2.3.1 試料の外観

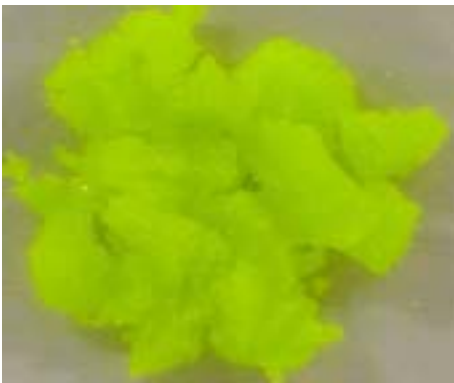
各含水率の試料の外観の例を図 2.3.1-1 に示す。含水率の増大に伴い、粒子間の間隙に水溶液が入り込み、凝集性が增大していることが分かる。



(a)含水率 0%



(b)含水率 10%



(c)含水率 20%



(d)含水率 25%

図 2.3.1-1 試料の外観

2.3.2 粉体物性の測定

(1) 粒度分布、平均粒径及び均一度

粒度分布の測定結果を図 2.3.2-1 に記す。また、粒径 - 篩下量を図 2.3.2-2 に示す。これらより評価した平均粒径及び均一度を表 2.3.2-1 に記す。

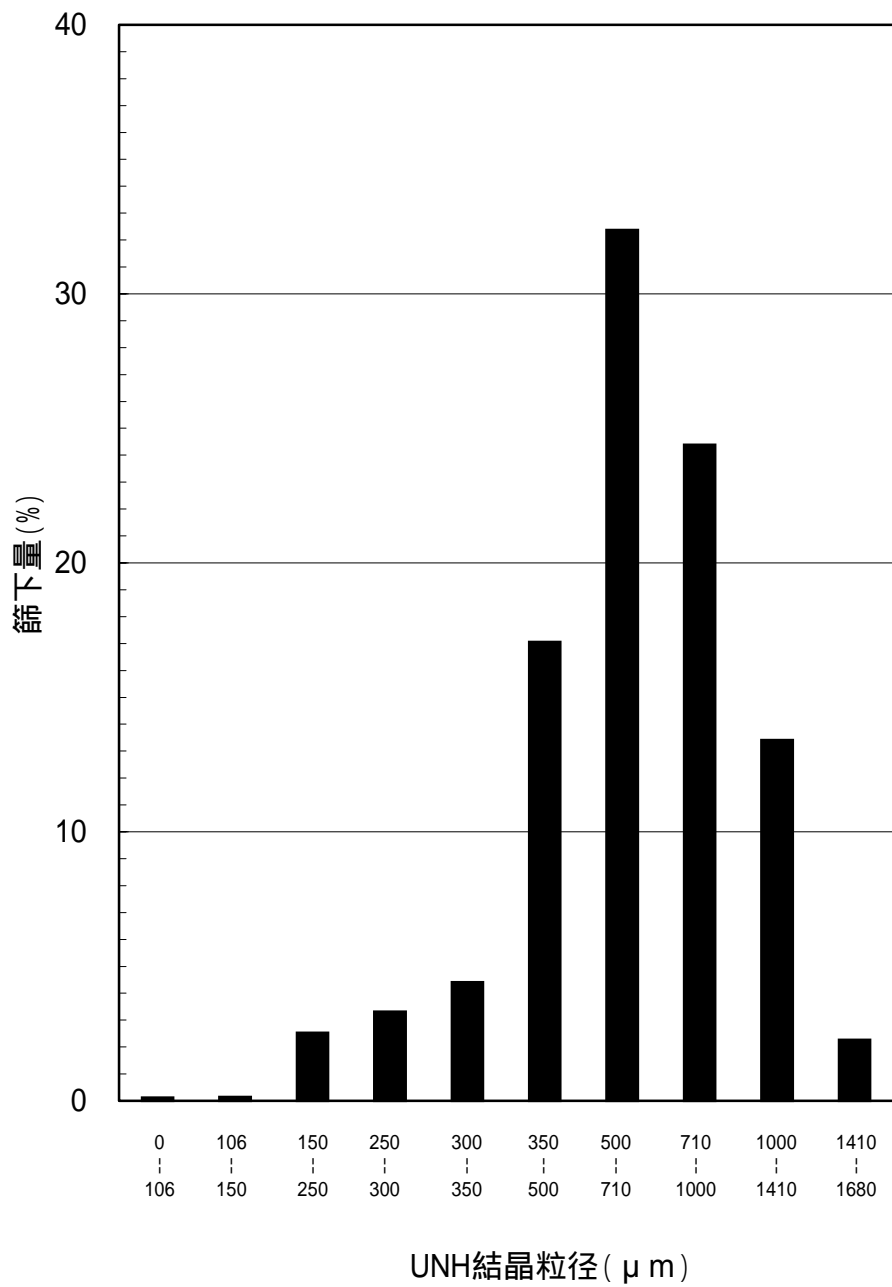


図 2.3.2-1 粉体物性測定に用いた UNH 結晶の粒度分布

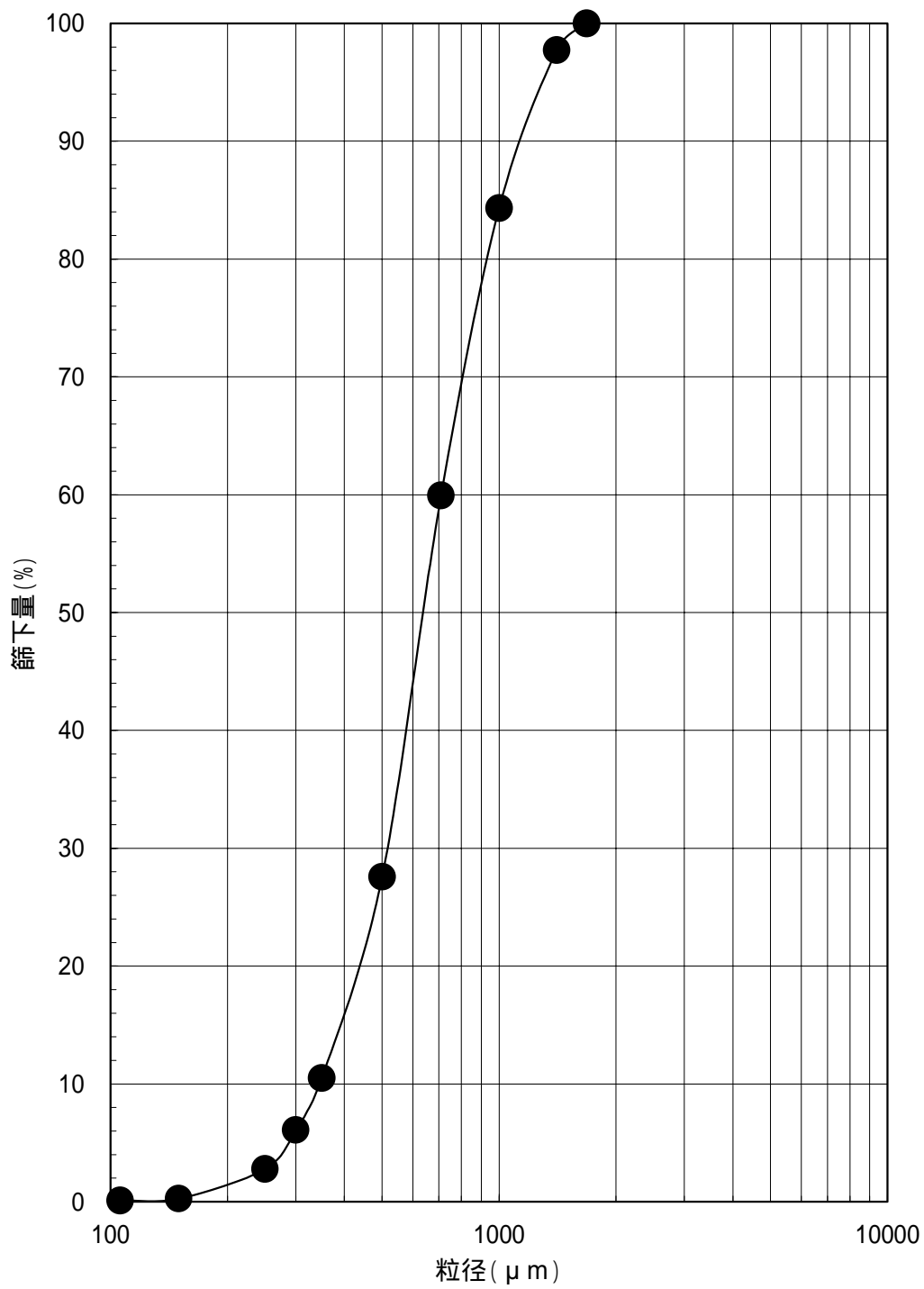


図 2.3.2-2 粉体物性測定に用いた UNH 結晶の粒径 - 篩下量の関係

表 2.3.2-1 粉体物性測定に用いた UNH 結晶の粒度分布、篩下量及び均一度

(a) 粒度分布		(b) 篩下量	
粒径幅 μm	粒度分布 重量%	篩目開き μm	篩下量 重量%
0 ~ 106	0.1	106	0.1
106 ~ 150	0.1	150	0.3
150 ~ 250	2.5	250	2.8
250 ~ 300	3.3	300	6.1
300 ~ 350	4.4	350	10.5
350 ~ 500	17.1	500	27.6
500 ~ 710	32.4	710	59.9
710 ~ 1000	24.4	1000	84.3
1000 ~ 1410	13.4	1410	97.7
1410 ~ 1680	2.3	1680	100

平均粒径：700 μm

(c) 均一度

篩下 10%の粒径: D_1	350 μm
篩下 60%の粒径: D_2	710 μm
均一度(= D_2/D_1)	2.0

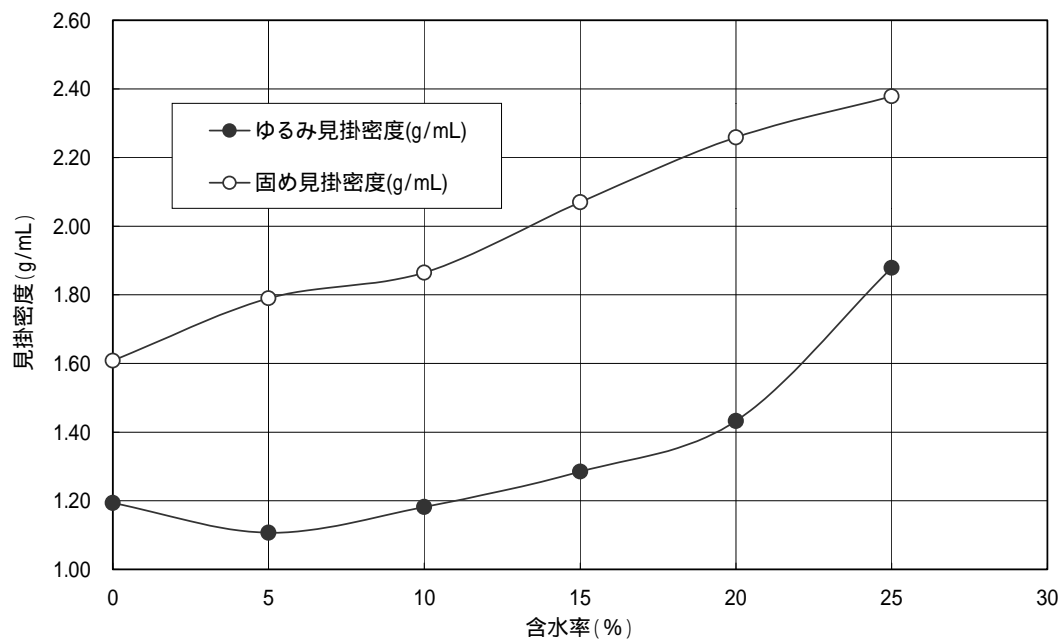
(2) かさ密度（固め見掛密度及びゆるみ見掛密度）及び圧縮度

かさ密度(固め見掛密度及びゆるみ見掛密度)及び圧縮度の測定結果を図 2.3.2-3 及び表 2.3.2-2 に記す。ここでは、含水率 0~25%の範囲で評価を行った。なお、含水率 25%では、タッピング終了時に、試料が充填されたカップの上部に液相が生じているのが観察された。これは、タッピングによって圧縮された試料の間隙から、添加した飽和溶液が押し出されたためと考えられる。

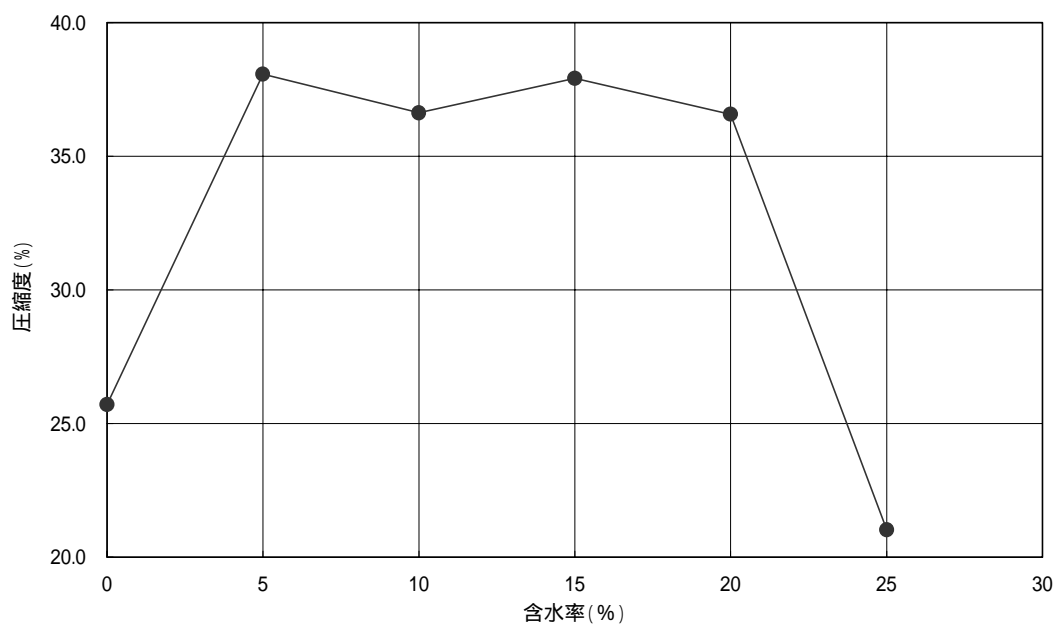
圧縮度は単独でも流動性の良好な指数として知られており、20%を越すと流動性が悪化し、40-50%ではアーチによる閉塞が顕著でホッパーからの重力排出が困難となるとされる³⁾。また、測定方法の性質上、他の物性値に比べ比較的再現性の高い方法である³⁾。

図 2.3.2-3 及び表 2.3.2.2 が示すように、含水率が 5~20%だと圧縮度が 40%に近づいてほぼ飽和することから、流動性の悪化が予想される。一方、含水率が 25%になると圧縮度は低下するが、晶析プロセスにおいては、除染係数を向上させる上でも含水率を低下させることが望ましい。以降では、実際のウラン結晶のハン

ドリング時において取り扱うことが想定される含水率 0-5%の範囲における種々の粉体物性を測定した。



(a) 見掛密度



(b) 圧縮度

図 2.3.2-3 かさ密度及び圧縮度の測定結果

表 2.3.2-2 かさ密度及び圧縮度の測定結果

含水率 (wt%)	ゆるみ 見掛密度(A) (g/cm ³)	固め 見掛密度(B) (g/cm ³)	圧縮度 (A-B)
0	1.19	1.61	26
5	1.11	1.79	38
10	1.18	1.86	37
15	1.28	2.07	38
20	1.43	2.26	37
25	1.88	2.38	21

(参考) 含水率表示の重量分率と体積分率の比較

含水率 (wt%)	含水率 (vol%)
0	0.0
5	3.1
10	6.6
15	10.7
20	15.9
25	26.1

(3) 安息角、崩壊角及び差角

安息角、崩壊角及び差角の測定結果を表 2.3.2-3 に記す。ここでは、含水率 0 及び 5% における評価を行った。また、測定時の外観を図 2.3.2-4 に示す。

表 2.3.2-3 安息角、崩壊角及び差角の測定結果

含水率 (%)	安息角 (°)	崩壊角 (°)	差角 (°)
0	52.5	43.0	9.5
5	45.8	40.5	5.3



(a) 含水率 0% 安息角



(b) 含水率 0% 崩壊角



(c) 含水率 5% 安息角



(d) 含水率 5% 崩壊角

図 2.3.2-4 安息角及び崩壊角測定時の外観



(a) 含水率 0%



(b) 含水率 5%

図 2.3.2-5 スパチュラ角測定時の外観

(4) スパチュラ角

スパチュラ角の測定結果を表 2.3.2-4 に記す。ここでは、含水率 0 及び 5% における評価を行った。また、測定時の外観を図 2.3.2-5 に示す。

表 2.3.2-4 スパチュラ角の測定結果

含水率 (%)	スパチュラ角 (°)
0	72.5
5	73.5

(5) 分散度

分散度の測定結果を表 2.3.2-5 に記す。ここでは、含水率 0 及び 5% における評価を行った。

表 2.3.2-5 分散度の測定結果

含水率 (%)	分散度
0	8.2
5	9.7

(6) 流動性指数の評価

(1)~(5)の結果に基づき、Carr の方法に従う流動性指数の評価結果を表 2.3.2-6 に記す。なお、パウダーテスター付属の取扱説明書によると、噴流性指数は粒径 50 μm 以上の粗粒に対しては適用されないが、参考として評価結果を表 2.3.2-7 に示す。これより、含水率 0~5% の範囲では、中程度の流動性を持つと考えられる。

表 2.3.2-6 流動性指数の評価結果

試料	含水率 0%		含水率 5%	
	測定値	指数 (評価値/満点)	測定値	指数 (評価値/満点)
安息角 (°)	53	12/25	46	14.5/25
圧縮度 (%)	26	14.5/25	38	4.5/25
スパチュラ角 (°)	73	12/25	74	12/25
均一度	2.0	23/25	2.0	23/25
流動性指数		61.5/100		54/100
評価	普通 (4 番目/7 段階)		あまり良くない (5 番目/7 段階)	

表 2.3.2-7 噴流性指数の評価結果

試料	含水率 0%		含水率 5%	
	測定値	指数 (評価値/満点)	測定値	指数 (評価値/満点)
流動性指数	61.5	25/25	54	22/25
崩壊角 (°)	43	12/25	41	14.5/25
差角 (°)	10	10/25	5	3/25
分散度	8.2	8/25	9.7	10/25
噴流性指数		55/100		49.5/100
評価	噴流性の傾向がある (3番目/5段階)		噴流性の傾向がある (3番目/5段階)	
防止対策	ロータリーシールが 要求されることがある。		ロータリーシールが 要求されることがある。	

2.3.3 考察

表 2.3.2-6 において特徴的なことは、含水率が 0% から 5% へと増大するのに伴い、安息角は減少し、流動性指数への寄与が微増しているのに対し、圧縮度は増大し、流動性指数への寄与が減少していることである。これら以外の物性値の変化は小さいため、含水率の増大は流動性指数を減少させる。その結果、流動性指数は、7 段階の内の 4 番目から 5 番目へと、中程度の範囲内で減少する傾向を示した。以降では、流動性指数の変化に寄与した安息角と圧縮度について検討する。

まず、安息角は、粒子間の摩擦係数及び付着力というより基礎的な物性値と、限界状態の斜面が形成される方法などの因子によって生じた現象である。含水率の増大は、粒子間の空隙に存在する溶液が潤滑剤として機能することで摩擦係数を減少させ、一方で粒子間に液体架橋が生じることで付着力を増大させると考えられる。摩擦係数及び付着力は、それぞれ減少することで安息角を減少させることから、含水率の増大による両者の安息角への寄与は相殺する傾向にあると推測される。本試験では、含水率の増大に伴い安息角は減少し、より高い流動性を示していることから、摩擦係数の減少による寄与がより大きい傾向にあるものと思われる。

一方、圧縮度は、安息角と同様に粒子間の摩擦係数及び付着力に支配される現象であり、容器への粉体充填時の挙動が流動性と密接に関係していることを利用している。一般に、流動性の悪い粉体では均一な充填が困難で、粉体層内に空隙が生じ易いが、これらの空隙の体積は、容器に加わる振動や衝撃により大きく減少する。この体積減少の程度を示すのが圧縮度であり、測定の再現性や流動性指数との相間性が高いとされる。本試験では、図 2.3.2-3 に示したように、含水率の増大に伴って、ゆるめ及び

固め見掛密度は増加する傾向を示す。圧縮度については、含水率 5%で急激に増大するが、以降飽和し、含水率 25%で急激に減少した。この圧縮度の増大は、付着力の増大に伴い、粒子同士の凝集性が増したために生じたと考えられる。また、含水率 25%で圧縮度が減少したのは、粒子間の空隙の大半を溶液が占めたために、タッピング操作で見掛密度が増大する効果が減少したためと考えられる。なお、圧縮度は単独でも流動性の良い指標として知られており、20%を越すと流動性が悪化する。更に 40-50%に至ると、ホッパーからの排出時にアーチ閉塞が顕著になり、重力排出が困難になるとされる。従って、この圧縮度のみを考慮すれば、含水率 0%の段階で既に流動性は悪く、含水率 5%以降ではホッパー排出についても何らかの対策をとる必要がある可能性がある。

以上より、含水率 0-5%の硝酸ウラニル結晶の流動性指数は中程度の範囲にあり、含水率の増大に伴い減少する傾向を持つことが示された。この傾向は、主として圧縮度の増大によるものである。また、流動性指数として中程度の範囲にあることから、適切な移送方法を選択することで移送できる可能性は高いと思われる。ただし、圧縮度単独では流動性が不良であることを示す値が得られたことから、特にホッパー排出等において十分な検討を要する。

なお、含水率が 5%より増大した場合、図 2.3.2-3 より含水率 5-20%で圧縮度にあまり変化がないことから、安息角が同様に減少するなら、流動性指数としては微増に転じる可能性が示唆される。

2.4 まとめ

本章では、晶析操作によって作製した硝酸ウラニル結晶に対して、種々の粉体物性を測定し、Carr の方法による流動性指数を評価した。この評価結果から、硝酸ウラニル結晶の流動性は中程度であり、種々の移送方法が適用できる可能性があると考えられる。

次章では、本節の結果に基づき硝酸ウラニル結晶に対する移送機器に関する検討を行う。

3 . ハンドリング装置の検討

3.1 本検討の概要

本検討では、まず、晶析法導入再処理プロセスにおいて必要と想定されるハンドリング操作を分類し、この分類に基づき、粉粒体の供給・輸送操作を行う装置を対象とする調査を行った。主たる調査範囲は、粉粒体ハンドリングに関わる各種技術資料であり、一般工業分野において結晶ハンドリングを伴うプロセスについても調査を行った。次いで、2章の結果に基づき、硝酸ウラニル結晶のハンドリングに適性をもつと思われる装置を抽出し、それらの装置を用いるにあたっての優位点や問題点等を検討した。

3.2 晶析法導入再処理プロセスにおけるハンドリング操作の分類

晶析法導入再処理プロセスにおいて必要と想定されるハンドリング操作を分類し、調査対象を明らかにすることを目的とする。

はじめに、図 3.1.1-1 に、晶析法導入再処理プロセスにおいて想定される晶析ウラン結晶ハンドリングの概要を示す。まず、工程間に結晶ハンドリングを必要とする工程の組み合わせを、以下の(A)～(C)に分類した。

(A) 晶析工程～貯蔵工程

(B) 晶析工程～脱硝転換工程

(C) 貯蔵工程～脱硝転換工程

「晶析工程」には、得られた結晶スラリーをろ過し、次工程へ払い出す機能まで含めるとする。その場合、ここで対象とする操作は、前工程から払い出された結晶を次工程まで輸送する操作（(A)及び(B)）と、輸送操作に加え、ホッパーなどの「貯槽」から結晶を定量的に切り出し、輸送装置へ供給する操作を含む場合（(C)）であると考えられる。

一般的な粉体機器の分類において、貯槽からの切り出し操作は「供給」と分類されることが多く、以降では、これらを「供給操作」と呼ぶ。また、(A)(B)の操作は、粉体の位置の移動を主な目的とすることから、「輸送」と分類されるため、「輸送操作」と呼ぶ。

この供給操作と輸送操作の分類は、実際の機器ではこれらを明確に区別しない場合が多い。例えば、スクリーフィーダーの場合など、ホッパーからの切り出し（供給操作）と輸送装置の両方の役割を兼ねている。空気式輸送装置（気流輸送）の場合も、同様の場合がある。

次節以降では、上記分類に従い、供給装置及び輸送装置について調査する。いずれの装置についても、粉体との摩擦力等を利用した機械式と、気体による流動化を利用した空気式の2形式に大別される。

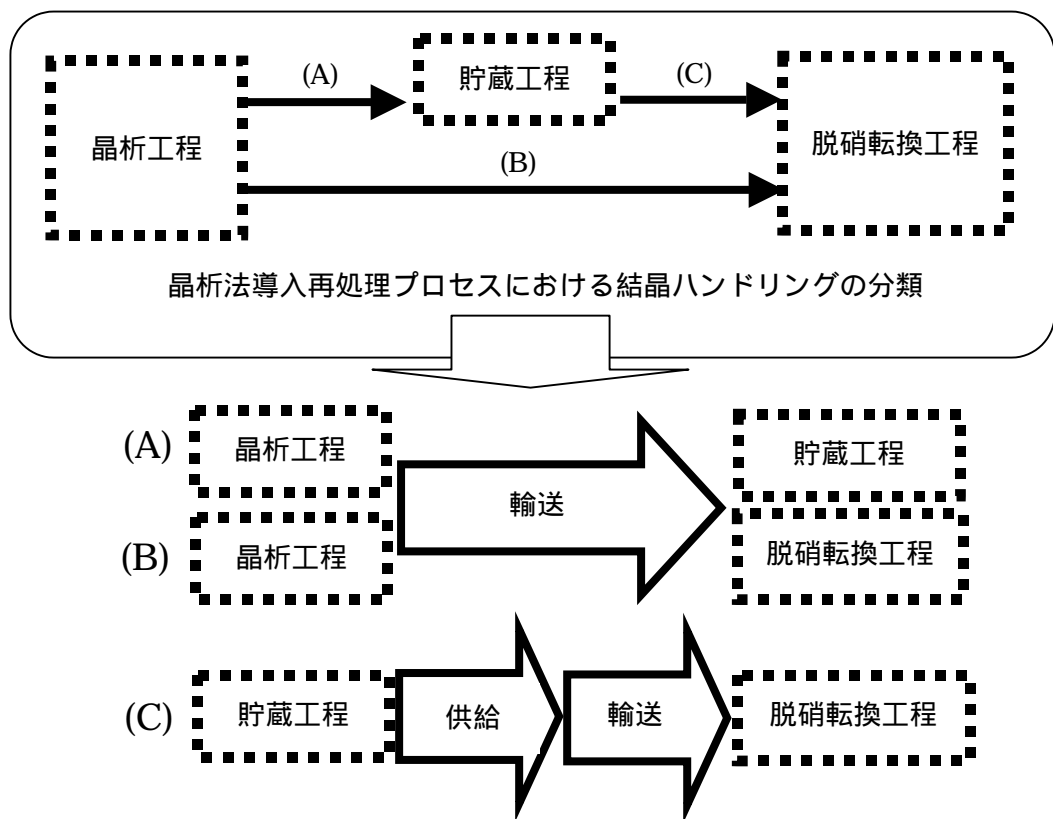


図 3.1.1-1 晶析法導入再処理プロセスにおける晶析ウラン結晶のハンドリングの分類

3.3 結晶ハンドリングに係る装置に関する調査

3.3.1 供給装置に関する調査

本節では、供給装置を分類し、各分類の代表的な装置の概要を列挙する。供給装置には多くの種類があることから、粉体移動の駆動力の与え方で大別した分類を表 3.3.1-1 に、各分類における代表的な装置の構造の概略や対象粉体等の概要を表 3.3.1-2 に示す。

表 3.3.1-1 供給装置の分類²⁾

大分類	小分類	概要	長所	短所
機械	往復運動式	バンカー・サイロの排出口に設置され、往復水平運動によって粉体が供給される。	付着性のない大塊・中塊に適	ゲートへの噛み込み、磨耗、粉じん飛散
	振動式	粉体に振動を与えて移動供給するもの。振動方式には電磁型、電動型、空気駆動型があり、供給方式によってトラフ型、円板型、揺動型がある。	連続運転に使用、供給量の調節可、構造的に密閉化が容易	付着・凝集性が強く、フラッシングのある粉体には難
	回転運動式	回転体に粉体を接触させて供給する。スクリュウ型、ロータリ型、ロール型、テーブル型がある。	定量性良好、ブリッジ、フラッシング、磨耗等に対する対策あり	一般に、スクリュウ等への噛み込みによるトラブルが生じ易い
	エンドレス式	循環する平面移動体に粉体を載せて供給するもの。ベルトフィーダ、エプロンフィーダ、チェーンフィーダがある。	構造簡単、大型化が容易	密閉化が困難
空気	流動化式	粉体の中に空気を吹き込み、粉体を流動化させ、輸送管に供給するもの。	駆動部分がない	付着性の高いもの、流動化が難しいものへの適用は困難

表 3.3.1-2 代表的な供給装置の構造及び対象粉体等の概要(1/3)²⁾

大分類	小分類	構造略図	原理	制御方法	容量	対象粉体	回転数または振動数	特記事項	No.
往復運動式	レンプウェーディングフィーダー		トラクターションによる往復水平運動	ゲートの開閉およびキータの回転数の変化	180 t/h ~ 500 t/h (かさ比重 $\rho=1.4$)	石灰、鉱石の中粒大粒粒径数 mm~800 mm ϕ	6~60 rpm	1. 塊状の移送に適す 2. かみ込み摩耗がある	1
	電磁フィーダー		電磁石による吸引力を利用し、トラフ底に約30°の角度で振動を与える	入力電圧の調整による振幅の変化およびゲートの開閉	0.5 t/h ~ 1250 t/h (砂 $\rho=1.4$)	付着性の強くないすべての粉体 粒径 150 mesh~400 mm ϕ	300V, P. M (50Hz) にて	1. 全閉構造も可能 2. 200℃の高温物を移送する 3. 保守点検が容易である	2
	電動フィーダー		振動キータまたはキータによる不平衡重錘の回転による振動力をトラフ底に約30°の角度で与える	入力電圧の調整による振幅の変化およびゲートの開閉	2t/h ~ 4800 t/h (砂 $\rho=1.4$)	共振フィーダー：付着性の強くないすべての粉体 強制フィーダー：上記の他、振動粉体も可 粒径150mesh~800mm ϕ	600V, P. M ~ 2500V, P. M (50Hz) にて	1. 全閉構造も可能 2. 200℃の高温物を移送する 3. 保守点検が容易である 4. 消費電力が少ない	3
	電磁振動円板フィーダー		コッパー誘導口の真下に円形の電磁振動板をおき、振動により円板上の粉体を流動化する	入力電圧による振幅の変化および円板と円板の間隙の調整	0.1m ³ /h ~ 3m ³ /h	PVC、ペレット、セメント、炭素などの塊物 数 mm 以下	300V, P. M (50Hz) にて	1. 閉鎖部分がなく故障がない 2. 容量で取付け容易である 3. 消費電力が少ない	4
回転式	振動式排出装置		内部に粉体の直圧を支える振動パッフルをもつ。パッフルは水平方向に円振動を行ないブロッコを破壊する	-	開孔径 400~2400mm ϕ	セメント、PVC、炭素、肥料、酸化銅など付着性粉体	750~3000V, P. M (50Hz) にて	1. 比較的大容量の貯槽からの排出装置である 2. 付着性粉体の貯槽内の閉塞防止に有効で貯槽の高さを低くすることができる	5
	スタリューフィーダー		スタリューの回転による	キータの回転数による変化	0.5kg/h ~ 300 t/h	セメント、肥料、飼料、高度化成肥料などの塊物、小塊 粒径 数mm~50mm ϕ	10~150rpm (50Hz) にて	1. 全閉構造で高温物移送に適す 2. 供給量は回転数に比例し精度もよい 3. 摩耗かみ込みのトラブルが多い 4. 過粒したものは不向	6
	2輪スタリューフィーダー		2輪のスタリューの回転による	キータの回転数およびスタリューの傾斜角の変化	0.5~15m ³ /h	粘土などの振動粉体	15~30rpm (50Hz) にて	1. 2輪のスタリューの干渉で閉塞しない 2. 振動原料を定量的に移送できる 3. 加振機としても使用できる	7
	二重まきスタリューフィーダー		同心の径ピッチの異なる2つのスタリューの回転による	キータの回転数	0.001T ~ 6.23m ³ /h	医薬原料、プラスチック、化粧品、医薬品のペレット、フロック状のものおよび潤滑性付着性粉体に適す	~150rpm	1. 2つのスタリューの回転数は異なり、塊を摩砕しながら移送する 2. 粉体を圧縮することなく定量性がよい	8
動式	バリピッチスタリューフィーダー		スタリューの回転による	同上	25~1800/h	PVC、薬品、タレー、炭素などの付着性粉体	~150rpm	1. スタリューのピッチが進行方向に向かって大きくなっているので粉体を圧縮しない 2. 貯槽の閉塞防止に効果的	9
	振動スタリューフィーダー		軸のないワイヤスタリューの回転とトラフの振動による	同上	0.005 ~ 16.5kg/h	アルミナ、カーボンブラック、酸化チタン、小炭粉、セメント、磁土、洗剤、フライアッシュ、タレーなど高粘性付着性粉体、振動粉体	15~150 rpm	1. 粉体による摩耗が少なく、結晶破壊がない 2. 保守点検が容易である 3. 定量性が非常によい	10

表 3.3.1-3 代表的な供給装置の構造及び対象粉体等の概要(2/3)²⁾

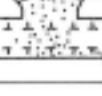
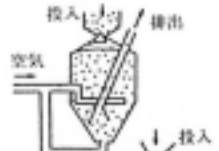
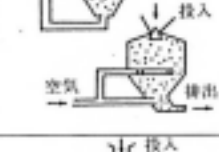
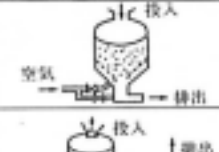
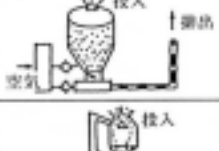
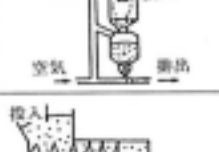

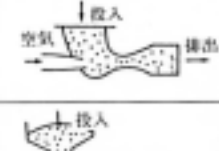

大分類	小分類	構造略図	原理	制御方法	容量	対象粉体	回転数または振動数	特記事項	No.
回転式	ロータリフイダー		翼付ロータの回転による	ロータの回転数	0.5~ 1500t/h	セメント、小炭粉など一般粉体の微粉およびペレット	5~50rpm	1. 構造簡單で保守が容易である 2. 用途に応じ、高シール型、かみ込防止型、付着防止型等がある 3. 完全密閉で鉄いぼにとりつけられる	11
	ロールフイダー		ロールの回転による	ゲートの開閉、ロータの回転数	1~ 75t/h	鉱滓、石灰、燐肥、焼油、ペレットなど	1~30rpm	1. 構造簡單で取扱い易い 2. 騒音をとらない 3. 大量のものには閉じん構造がとりにくい	12
	テーブルフイダー		ホッパーの下のテーブルを回転し、スクレーパーで掻きおとす	ロータの回転数およびスクレーパーの切り込み深さ	250 t/h	石灰、石膏、石灰石、粘性カーキなど (粒径100mesh~300mesh)	2~20rpm	1. 通常は開放型が多いが、密閉型も可能である 2. 粉じ量のバラツキ、回転数の変動多し	13
	スタップディスタフイダー		スタップディスタ型テーブルの回転による	ロータの回転数	0.50t/h 100t/h	PVC、消石灰、小炭粉、フォルム粉、ペレット、原料、マルクなど付着性、塊状粉体に適す	1~20rpm	1. 極めて定量性が高い 2. 全密閉構造である 3. 構造簡單で遠隔操作ができる	14
	テーブルフイダー型排出装置		回転翼またはテーブル上にコンを取付け、回転し排出する	ロータの回転数	~280 t/h	ベンガラ、カーボン、消石灰、フライアッシュ	1~30rpm	1. 粉塵のブライジを解消する 2. ロータリフイダーと併用することによりフラッシングを防止できる 3. 安定した連続排出を行なう	15
	チェーン排送装置		チェーンホイールによるチェーンを回転しチェーンの重みとチェーンの回転による	ロータの回転数	~380 t/h	石灰、燐肥などの中塊、大塊	2~50rpm	1. 大塊排出しに適す 2. シェート部は4寸以上の傾斜と長さが必要とするので高くなる欠点あり 3. チェーンの隙間からまれる微粒子は不適	16
ベルト式	ベルトフイダー		ベルトの張力を利用し、ロータをロータで駆動し、ベルトの移動による	ゲートの開閉とロータの回転数	~2000 t/h	鉱石、石灰、コークス、焼結灰、石灰、カーボンなど広範囲の粉体 (粒径1mm~100mm)	ベルトの最高速度 18~ 30m/min	1. 保守が容易で故障が少ない 2. 密閉構造にするのがわずかに粉じんを飛散させる 3. 高湿度、摩耗性の粉体移送に不向	17
	エプロンフイダー		エプロンチェーンに張る状の鋼板をとりつけスプロケットホイールで回転せしめて移動する	ゲートの開閉とロータの回転数	~1800 t/h	鉱石、石灰、石灰石、石灰石 (粒径100mesh~300mesh)	エプロンの最高速度 12~ 18m/min	1. 120℃以上の高温物、摩耗性粉体の移送に適す 2. バンに原料が付着し、かみ込むことがある	18
	チェーンフイダー		エプロンチェーンをスプロケットホイールで回転し移動する	ロータの回転数と回転数	30 t/h 680 t/h	鉱石、石灰、石灰石、石灰石、セメント、小炭粉	チェーンの最高速度 22m/min	1. フィーダーとして利用されるのは少ない 2. チェーンコンベヤは大型サイロの底部から粉体を引出すのに用いられる	19

表 3.3.1-4 代表的な供給装置の構造及び対象粉体等の概要(3/3)²⁾

大分類	小分類	構造略図	原理	制御方法	容量	対象粉体	空気圧	特記事項	No.
直動式	フック式		容器内に粉体を封じて空気圧により流動化して輸送管に供給する	空気量および空気圧	<600 t/h	セメント、フライアッシュ、アルミナなどの微粉	4~7 kg/cm ²	1. 高圧圧送に適す 2. 連続輸送ができない 3. プロトタイプの上層より排出する 4. 大容量長距離移送用 5. セメントタンカー船からの陸揚移送用	20
	キャリー式		同上	同上	<600 t/h	セメント、フライアッシュ、アルミナなどの微粉	4~7 kg/cm ²	1. 高圧圧送 2. 連続輸送ができない 3. プロトタイプの上層より排出する 4. 大容量長距離移送用 5. セメントタンカー船からの陸揚移送用	21
	流動式		プロトタイプ内に多孔板を設け粉粒体の流動性をよくし、輸送管に供給する	同上	<120 t/h (セメント)	消石灰、セメント、PVC、銅粉、炭素、酸化鉄、食塩など付着性のある微粉およびペレット	2~7 kg/cm ²	1. 高圧圧送である 2. 高速度輸送で空気量が少ない 3. 動力が少なくすむ	22
	ブラブロー式		粉粒体を分散して粉粒体プラグとエアアクションを交互につくり排出する	同上	<10 t/h	顆粒、錠剤、タルク、クレー、シリコン食品重合体、硬質粉末などの付着性粉体、混合粉体	200mmAq ~7 kg/cm ²	1. 高圧圧送輸送に適す 2. 高速度輸送で空気量が少ない 3. 0.1~5 m/sec の低速輸送ができる 4. 粉粒体の粒子の破壊、混合粉粒体の分離が少なく摩耗が少ない	23
	二重排出弁		二重排出弁付ホッパーで上下のホッパーで連続排出する	同上	<20 t/h	セメント原料、塵粉炭、フライアッシュなど溜った粉状に適す	200mmAq ~7 kg/cm ²	1. 高圧圧送に適す 2. 二重排出弁をもった上下タンクにより連続に近い空気輸送が可能になり経済的である	24
式	スタリューフォーダー式		特殊スタリューにより粉粒体は空気吹出管部に押し出す	スタリューの回転数 空気量および空気圧	30 t/h~ 50 t/h	セメント、セメント原料、塵粉炭、フライアッシュ	100~ 300mmAq	1. 正確な制御機構なしに自動的に連続輸送ができる 2. 排出高さが低くヤイマ下などの狭い場所に設置できる 3. スタリュー軸の回転に大きな動力を要する	25
	エゼクター式		圧縮空気をノズルより吹き出し、部分真空になり、粉粒体を吸引し圧送する	空気量および空気圧	<10 t/h	合成樹脂のペレット、ダスト	100mmAq ~7 kg/cm ²	1. 吸引圧送方式のため供給距離が容易 2. 摩擦部分がないのが特長 3. 小量で高真空が得られる 4. 圧力損失大きく小容量、振動大	26
	エアライド式		キャンパスなど多孔物質の下層から低圧の空気を吹き出す。キャンパス上の粉粒体を流動化する	ゲートおよび空気量	<300 t/h	セメント、アルミナ、フライアッシュのように空気により流動化するもの	1000~ 2000mmAq	1. 可動部分がなく保守が容易 2. 消費動力が少ない 3. 流動化され易い、粉体に限り利用できる 4. 垂直輸送ができない	27

3.3.2 輸送装置の分類

本節では、輸送装置を分類し、各分類の代表的な装置の概要を列記する。輸送装置を、構造の特徴などで分類した結果を表 3.3.2-1 に示す。また、これより、代表的な方式について、概要をまとめた結果を表 3.3.2-2 に示す。なお、参考として、スクリーコンベア におけるスクリー形状の概要を表 3.3.2-3 に、空気輸送装置のフローパターンを表 3.3.2-4 に示す。

表 3.3.2-1 輸送装置の分類³⁾

方式	種 類	適 用 範 囲				経路の選定		トラブル	輸送箇所	所要動力
		距離 [m]	輸送量 [t/h]	最大 粒子径 [mm]	最高 温度 [℃]	本 路 直 分 平 直 り 数	現 状 再 留 数 損			
流 送 式	固定式	スクレーパーコンベヤー	0.5～10	2～300	30	300	○ △ × ×	B C C	全面的	中
		振動・撓動コンベヤー	2～15	0.4～200	30	*	○ △ △ △	A B A	全面的	大
	循環式	ベルトコンベヤー	5～2000	5～6000	—	*	○ × × △	C A A	ローラ、輪受	小
		チェーンコンベヤー	2～200	1～300	50	300	○ ○ ○ ×	A C B	チェーン、輪受	中
		パレットコンベヤー	10～60	1～600	100	80	× ○ × ×	A C B	チェーン、輪受	小
	管絡式	空気輸送	20～1000	0.5～600	30	600	○ ○ ○ ○	C C C	ベンド弁	大
		エアスライド	1～200	5～300	1	80	下り4～10° ○ ○	C C B	ダンプ	小
		水力輸送	50～10000	10～200	30	80	○ ○ ○ ○	C C C	ベンド弁	大
	パ ン チ 式	専用貨車	大	10～30	—	80	○ × ○ ×	C — —	—	小
タンクローリ		大	5～15	30	80	○ × ○ ×	C C C	パッキン、弁	小	
コンテナ		大	1～3	50	80	○ ○ ○ ×	B A A	出入口	小	
船		特大	～15万	—	80	○ × ○ ×	B B B	—	小	

(注) ① *印：ワムを用いるものは80℃、鋼板を用いるものは300℃。

② 一印：構造によって著しく異なる。

③ 所要動力は単位輸送量についての比較を示す。

④ パンチ式は1基当たりの数値を示す。

⑤ 貯留設計のものは除外する。

⑥ ○、△、×は選定するもの順を表わす。

⑦ A、B、Cは多いもの順を表わす。

表 3.3.2-2 代表的な輸送装置の概略(1/2)²⁾

分類	種類	構造略図	概要												
機械式	スクリーコンベヤー		<p>水平、傾斜、垂直輸送が可能。 トラフ形状は、U型、丸型。羽根形状の例を表 3.3.2-3 に示す。 閉塞しやすい粉体の排出などには、多軸スクリーが使用される。</p>												
	揺動・振動コンベヤー	<table border="1" data-bbox="459 779 903 1037"> <thead> <tr> <th></th> <th>1 傾動式</th> <th>2 振動式</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>トラフ式</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>円筒形 おもり式</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>電磁式</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		1 傾動式	2 振動式	トラフ式			円筒形 おもり式			電磁式			<p>輸送物をトラフに供給し、一定方向の直線運動を与え、跳躍させながら輸送する。輸送と同時にふるい分け、冷却、乾燥等が可能。構造がシンプル。</p>
		1 傾動式	2 振動式												
	トラフ式														
円筒形 おもり式															
電磁式															
ベルトコンベヤー		<p>粉体をベルトのような搬送体に乗せて運搬する。大容量、長距離輸送が可能で、動力消費が比較的少なく、適用範囲が広い。</p>													
バケットコンベヤー	<p>ピボデッドコンベヤー</p>	<p>粉体をベルトやチェーンにつけたバケットやポットに入れて運搬する。多くの形式があるが、バケットをピンで自由に回転できるように支持し、チェーンにより循環輸送するタイプをピボデッドコンベヤーという。</p>													

表 3.3.2-4 代表的なスクリー形状と特徴ならびに用途³⁾

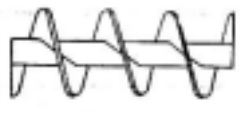








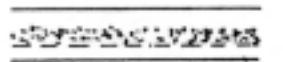
名 称	形 状	特 徴 と 用 途
(a) 標準形スクリー		<p>(1) 最も一般的な基本的形状。</p> <p>(2) 流動性が悪く輸送しにくい粉粒体ほど、また、傾斜が大きい使い方の場合ほどピッチを小さくする。</p> <p>(3) 流動性がよく入りすぎて過負荷のおそれがある粉粒体には、ピッチを入口で小さくし、出口で大きくする。</p> <p>(4) 圧力差がある所への供給輸送では、ピッチを次第に小さくして粉体シールの効果をもたせる。</p> <p>(5) 用途：穀類、食品、ペレット、石炭、セメント、ダスト、一般の粉粒体</p>
(b) バドル付きスクリー		<p>(1) 羽根あるいは軸にバドルを付けた構造。</p> <p>(2) 用途：攪拌、混合しながらの輸送</p>
(c) リボンスクリー		<p>(1) 羽根と軸の間に隙間をもたせた構造。</p> <p>(2) 用途：粗い塊、粘性のあるものの混合輸送</p>
(d) カットフライトスクリー		<p>(1) 羽根外周の一部を切欠いた形状。</p> <p>(2) 混合あるいは、ある程度の粉砕をする場合に適する。</p> <p>(3) 密度の大きい粗粒の輸送に適する。</p> <p>(4) 用途：混合飼料、砂利、砂、微粉炭など</p>

表 3.3.2-5 空気輸送装置のフローパターン²⁾

輸送方式	輸送管内のフローパターン	輸送状態	100m当り 圧損 [kgf/cm ²]	風速 [m/sec]	混合比 [kg/h/kg/h]
低 圧	 均一に分配	飛 翔	0.1-0.5	20-30	1-10
低 圧 高圧高濃度	 管底の濃度が大	跳 躍 摺 動	0.3-1.0	10-20	10-20
高圧高濃度	 団塊はできるが、小	跳 躍 団塊摺動	2-5	5-15	10-100
高圧高濃度	 団塊は圧密 されないで ゆるい状態	団塊摺動	2-5	5-15	30-150
プラグフロー	 圧密された プラグ状態	プラグ摺動	2-5	1-5	30-150
エア スライド	 粉体層	滑り	-	粉体層 0.5-2	-

3.3.3 一般工業における結晶ハンドリングの例

本節では、一般工業分野における結晶ハンドリングの例を調査した結果を表 3.3.3-1 ~ 表 3.3.3-4 に記す。

表 3.3.3-1 一般工業における結晶ハンドリング機器の例(1)⁴⁾

分野	製塩
プロセス概要	海水からイオン交換法で採取した塩化ナトリウム水溶液を、真空式蒸発管を用いて濃縮する。次に、この濃縮塩化ナトリウム水溶液から晶析工程を経て塩化ナトリウム結晶を生成し、固液分離、洗浄した後、製品として出荷する。
結晶ハンドリング機器	供給：テーブルフィーダー 輸送：ベルトコンベヤ、バケットコンベヤ、空気輸送（高圧）
フロー	<p>製塩工程（晶析操作後）における結晶ハンドリング操作の概要</p> <p>製品結晶の貯槽への輸送には、ベルトコンベヤ、バケットコンベヤが、供給器には、テーブルフィーダーが用いられる。また、貯槽（サイロ）からの移動には、高圧圧送型の気流輸送装置が用いられる。</p>

表 3.3.3-3 一般工業における結晶ハンドリング機器の例(3)⁵⁾

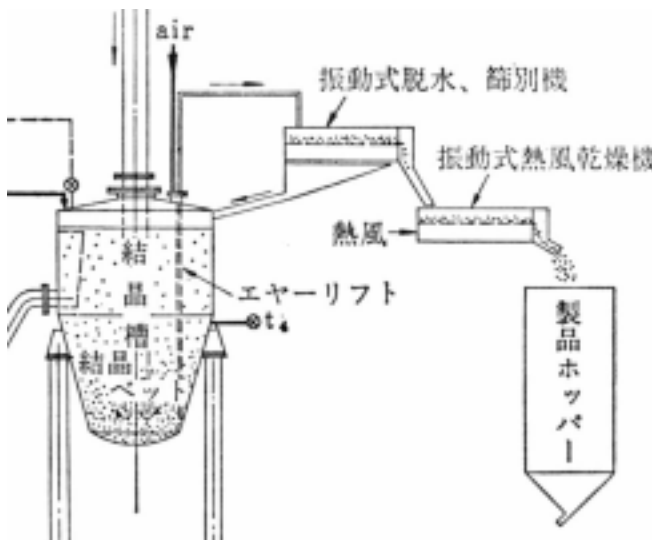
分野	硫酸ニッケル
プロセス概要	オスロー型結晶缶内で晶析した硫酸ニッケル結晶に対し、底部の結晶ベッドからエア－リフトでこれを抜き出す。得られたスラリーに対し、移動式振動脱水・篩別器、及び振動式熱風乾燥機を用いて、輸送、乾燥及び篩別を同時に行いながら、製品ホッパーへと輸送する。
結晶ハンドリング機器	輸送：振動コンベア（但し脱水・篩別・乾燥の機能を併せもつ）
フロー	 <p>硫酸ニッケル製造工程（晶析操作後）における結晶ハンドリング操作の概要</p> <p>機械的な操作を伴わないエア－リフトを用いて、晶析槽から直接結晶スラリーを抜き出す。次に、脱水・篩別・乾燥の機能を併せ持つ振動コンベヤで、ホッパーへと輸送し、製品とする。</p>

表 3.3.3-4 一般工業における結晶ハンドリング機器の例(4)⁴⁾

分野	硝酸アンモニウム精製（ダイナマイト製造プロセス）
プロセス概要	極めて吸湿性の高い硝酸アンモニウム結晶を粉砕し、微粒化した後計量してダイナマイト製造プロセスに供給する。
結晶ハンドリング機器	供給：ベルトフィーダー 輸送：トランジチューブコンベア、スクリーコンベア、気流輸送
フロー	<p style="text-align: center;">硝酸アンモニウム精製・計量プロセス</p> <p>硝酸アンモニウムの粉砕と輸送を交互に行う。スクリーコンベアは、結晶サイズの分級操作を兼ねていると考えられる。吸湿時の潮解性や固化性が高く、一般に取り扱いにくいとされる硝酸アンモニウム結晶に対し、ベルトコンベア、チューブコンベア、スクリーコンベア、気流輸送と多彩な移送装置を使用する点に特徴がある。</p>

3.4 硝酸ウラニル結晶への適用へ向けた検討

3.4.1 供給装置の選定

本節では、前節において列記した供給装置及び輸送装置に対して、2章での試験結果より対象の絞り込みを行った。

はじめに、粉体物性と供給装置の適性に関する分類を表 3.4.1-1 に示す。2章において評価した硝酸ウラニル結晶の粉体物性から、Carr の流動性指数について含水率 0-5% で 61.5-65 という結果が得られたこと、また、今回の評価や比較的広い粒度分布を有することから、表 3.4.1-1 における粉体性状の分類では、「B:粉粒体(不均一)」に該当すると思われる。より保守的には、溶液中から調製したものをろ過後に取り扱うため、「C:粉粒体(湿ったもの)」に該当する可能性もあると考えられる。

もし、分類 C とみなせば、供給装置として適するのはベルトフィーダのみであり、特殊設計を許容すれば、スクリー式もしくは振動式の電磁フィーダも適用できる可能性がある。分類 B も含めるなら、スクリー式、テーブル式特殊フィーダー及び流動式も適するとされる。また、特殊設計を許容すれば、回転式ロールフィーダを除く表中の全ての形式が利用できる可能性があり、装置選択の幅は大きく広がる。

表 3.4.1-1 粉体物性と供給装置の適性²⁾

記号 適する 使用可能(特殊設計) ×使用不可能または困難	流動性 指数 (Carr)	振動式		スク リュウー		回転式		テーブ ル式		エンドレ ス ベルト式			流動式	
		電 磁 フ ィ ー ダ	円 板 フ ィ ー ダ	ス ク リ ュ ー フ ィ ー ダ	振 動 ス ク リ ュ ー	ロ ー タ リ フ ィ ー ダ	ロ ー ル フ ィ ー ダ	テ ー ブ ル フ ィ ー ダ	特 殊 フ ィ ー ダ	ベ ル ト フ ィ ー ダ	エ プ ロ ン フ ィ ー ダ	チ ェ ン フ ィ ー ダ	流 動 タ ン ク	エ ア ス ラ イ ド
分類表 表 3.3.1-2 の No.		2 3	4	6 9	10	11	12	13	14 15	17	18	19	20 24	27
粉体性状														
A 粉粒体(均一)	70~80													
B "(不均一)	50~65						×							
C "(湿ったもの)	40~65		×			×	×	×	×				×	×
D "(やわらかいもの)	50~70			×	×	×	×	×	×		×	×	×	×
E 付着性粉体	5~25		×			×	×	×	×	×	×	×		×
F フラッシング性粉体	5~35	×	×				×	×		×	×			
G フィルム状粉体	1~10	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×
H フレーク状粉体	1~20										×	×		
I 繊維状粉体	1~30			×	×			×			×	×		×
運転条件														
A 圧力差(粒)	40~80	×	×					×	×	×	×	×		×
B "(粉)	5~40	×	×		×			×	×	×	×	×		×
C 定量性(粒)(±2%以下)	40~80							×	×		×	×		
D "(粒)(±2%以下)	5~40	×	×	×		×	×	×		×	×	×		×
E 制御性(粒)	40~80							×	×		×	×		
F "(粉)	5~40	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×

：硝酸ウラニル結晶が該当

3.4.2 輸送装置の選定

本節では、前項で列記した輸送装置について、2章の試験結果に基づく対象の絞り込みを行った。

はじめに、粉体物性と機械式輸送装置の適性に関する分類を表3.4.2-1～3²⁾に示す。表中では、各粉体を「粒径」、「流動性」、「磨耗性」及び「粉体物性」の各項目別に分類し、それぞれに各輸送機器への適性を評価している。ここでは、対象となる硝酸ウラニル結晶の各項目での分類先を示し、全ての分類で「(適当)」もしくは「(特殊設計使用可)」と評価される輸送機器を抽出する。

まず、2章で測定した粒度分布より、対象となる硝酸ウラニル結晶の大半が粒径100 µm-2mm内にあることが分かる。従って、「粒径」では「微粉(100 µm-2mm)」に分類した。次に、「流動性」では、同じく2章での測定より、含水率0-5%で安息角53-46°という結果が得られたことから、「安息角>45°」に分類した。また、「磨耗性」では、一般に結晶は磨耗性を持つものの、2章で硝酸ウラニル結晶をハンドリングした経験から、磨耗性がそれほど高くないことを確認しており、「やや磨耗性」に分類した。最後に、「粉体物性」では、このような水への溶解度が高い結晶に生じ易い現象として、吸湿とそれに伴う結晶同士の固結があることから、「吸湿」及び「かたまりやすい粉」に分類されるものとした。

以上の分類に対し、「」以上の適性を持つとして抽出された輸送機器は、ピボテッドコンベア、ベルトコンベア、スクリーンコンベア、ジッパーコンベアである。この内、全ての「」と評価されたのはベルトコンベアのみで、他は何らかの特殊設計を必要とする可能性がある。いずれの機器も、硝酸ウラニル結晶の移送に適用できる可能性が高いと考えられる。


一方、空気輸送については、代表的な空気輸送方式の比較を表3.4.2-4²⁾に、空気輸送方式選定のポイントを表3.4.2-5²⁾に示した。輸送表中で示した各方式の内、「高圧高濃度」方式、「プラグフロー」方式は、それぞれ100m以上の長距離輸送が容易であることと、磨耗性粒体の非破壊輸送が可能であることが特徴であり、他の点については、概ね「低圧吸引」及び「低圧圧送」方式の方が優れている。硝酸ウラニル結晶は、長距離輸送、非破壊輸送のいずれも必要としないと考えられることから、「低圧吸引」及び「低圧圧送」方式がより適している可能性が高い。特に「低圧吸引」方式は、 санитар性 に優れ、装置外部が結晶で汚染する可能性も少ないため、より高い適性をもつと考えられる。ただし、「プラグフロー」方式は、低速輸送であることから、配管の磨耗が少なく²⁾、また動力コストも安い²⁾とされており、「低圧吸引」及び「低圧圧送」方式と比較検討する余地がある。エアライド方式については結晶の実施例がなく、流動化可能かどうかを試験等によって確かめる必要がある。

以上より、硝酸ウラニル結晶の移送に適用できる可能性が高い輸送機器として、

機械式では、ピボテッドコンベア、ベルトコンベア、スクリーンコンベア、ジッパ
ーコンベアが挙げられた。一方、空気式では、「低圧吸引」方式が有力と考えられる
が、他の方式にも優位点はある、更なる検討を要する。

表 3.4.2-1 機械式輸送装置の選定表(1/3)²⁾

装置形式		エレベーター（垂直）						コンベヤ（水平）						エレベーター+コンベヤ							
適 当	特殊設計使用可能	遠心排出バケツト	完全排出バケツト	誘導排出バケツト	Vバケツトコンベヤ	ビボテッドコンベヤ	フローコンベヤ	堅型スクリュウコンベヤ	ベルトコンベヤ	スクリュウコンベヤ	エプロンコンベヤ	スクレパーコンベヤ	振動コンベヤ	フローコンベヤ	ドラグチェンコンベヤ	フローコンベヤ	Vバケツトコンベヤ	ビボテッドコンベヤ	サーキュラコンベヤ	ジッパーコンベヤ	×使用困難
粒径	超微粉(-100 μ)	1			×					×	×			×		×					
	微 粉(100 μ~ 2mm)										×										
	粒 (2mm ~ 13mm)																				
	塊 (13mm 以上)	2		2			3	×		6				3		3			4	5	
	不規則(多孔質)	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	
流動性	安息角 < 30°			7				×													
	安息角(30 ~ 45°)			7																	
	安息角 > 45°			×	×		×	×		8	×	×	×	×	×		×				
摩耗性	非摩耗性																				
	やや摩耗性				×												×		×		
	非常に摩耗性	×			×		×	×		9	10	×		×		×	×		×		

 : 本試験で対象とする硝酸ウラニル結晶が該当する条件



 : 硝酸ウラニル結晶への適性が高い輸送機器

表 3.4.2-2 機械式輸送装置の選定表(2/3)²⁾

装置形式		エレベーター（垂直）							コンベヤ（水平）							エレベータ+コンベヤ				
		遠心排出バケツト	完全排出バケツト	誘導排出バケツト	Vバケツトコンベヤ	ピボテツドコンベヤ	フローコンベヤ	堅型スクリュウコンベヤ	ベルトコンベヤ	スクリュウコンベヤ	エフロンコンベヤ	スクレパーコンベヤ	振動コンベヤ	フローコンベヤ	ドラグチェーンコンベヤ	フローコンベヤ	Vバケツトコンベヤ	ピボテツドコンベヤ	サーキュラコンベヤ	ジッパコンベヤ
適 当																				
	特殊設計使用可能																			
×使用困難																				
粉体 特性	汚染	×	×	×	×		×	×		×	×	×		×	×	×	×		×	
	吸湿	×	×		×		×	×		8	×	×		×	×	×	×		×	
	腐食	×	×	×	×		14	14		14	×	×		14	×	14	×		×	
	やや腐食																			
	有害な粉体				×	×			11		11	11			11		×	×		
	爆発性	12	12	12	×	×	12	×	12	12	×	×		12	×	12	×	×		
	経時変化	×		×	×		13	×	×	×	×	×		13	×	13	×		13	
	軽いふわふわした粉	×			×						×				×		×			
	からみあった粉	×		×	×			×		×	×	×		×	×	×	×		×	×
	エアレートしやすい粉				×	×			×		×	×	×		×		×	×		
	かたまりやすい粉	×		×	×		×	×			×	×		×	×	×	×		×	
高温粉体				×		×		×							×	×		×	×	

 : 本試験で対象とする硝酸ウラニル結晶が該当する条件


 : 硝酸ウラニル結晶への適性が高い輸送機器

表 3.4.2-3 機械式輸送装置の選定表(3/3)²⁾

記号表	
	・使用に適する
	・使用してもよいが、特殊設計
×	・使用は好ましくない
1	・微粉でも見掛比重が 0.8 以上あれば使用できる
2	・塊の大きさによって使用できるかどうか判定 ・150×100mm のバケットサイズでは、最大粒径 12～15mm(100%),微粉 10% 混入で最大粒径 70mm ・200×400mm のバケットサイズでは、最大粒径 35～50mm(100%),微粉 10% 混入で最大粒径 150mm
3	・小型(75～120mm)では、塊の含有率 15% 以下であれば取扱う最大径 15～20mm ・大型(225～325mm)では、同じ条件では取扱い最大径 60mm
4	・最大粒径 30～40mm
5	・最大粒径についてはメーカーと相談すること
6	・スクリー径 150mm については、最大粒径 20mm(塊は 25% 以下),塊 100% では 15mm ・スクリー径 500mm については、最大粒径 80mm(塊は 25% 以下),塊 100% では 50mm
7	・自由に流動する粉体ではコスト高になる
8	・流動性の悪い粉体では、リボンミキサー型の羽根をもつスクリーコンベヤが適する
9	・非常に摩耗性のある粉体では、能力の大きいスクリーコンベヤが適することがある
10	・漏れの少ないエプロンコンベヤは、摩耗粉体の輸送ができる
11	・完全密閉型
12	・完全密閉,爆発に対して十分な破裂板を取付ける
13	・塊,流動性,輸送径路に制限があるが,品質低下は少ない
14	・耐食金属

(注)・ジッパーコンベヤは、巻き込みコンベヤを示す。

・サーキュラコンベヤは、パイプコンベヤを示す。

・スクレーパーコンベヤは、チェーンにスクレーパーをつけたもの。

・Vバケットコンベヤは、チェーンにバスケットを付け、水平部は樋中をバケットで滑らせて運び、垂直方向にはバケットで運ぶもの。

表 3.4.2-4 代表的な空気輸送方式の比較²⁾

	条件	低圧吸引	低圧圧送	高圧高濃度	プラグフロー
レイアウト	輸送距離が短い				
	輸送距離が長い	×			
	多供給点より輸送		×	×	×
	多ポイントへ輸送	×			
	供給点の高さが低い			×	×
粉体物性	破砕し易い粉体	×	×		
	偏析し易い粉体	×	×		
	磨耗性の強い粉体	×	×		
	若干湿った粉体			×	×
運転条件・その他	連続輸送			×	×
	システムが簡単			×	×
	サニタリー性				
	配管径を小としたい	×	×		
	通常の粉を輸送				
	イナートガスで循環輸送			×	×

特に良 良 あまり良くない ×良くない

: 本試験で対象とする硝酸ウラニル結晶が該当する条件

表 3.4.2-5 空気輸送方式選定のポイント²⁾

方 式	ポ イ ン ト
<p>低圧 (吸引、圧送)</p>	<p>(1) システムが簡単 (2) 連続輸送方式 (3) 短距離に適用し易い (4) 圧損 5000mmAq、風速 25 ~ 30m/s くらい (5) 大抵の粉体に適用できる (6) N₂ ガス等を循環使用し易い</p>
<p>高圧高濃度</p>	<p>(1) 短距離から長距離まで適用できる。特に輸送距離 100m 以上でメリットが大きい (2) バッチ方式 (3) 通常の粉体に適用できる (4) 輸送圧力が 2 ~ 5kg/cm² なので、タンクは圧力容器となる。</p>
<p>プラグフロー</p>	<p>(1) 0.5 ~ 4m/s くらいの低速輸送で破碎、磨耗が少ない (2) バッチ方式 (3) 適用粉体に制約がある (4) プラグを形成させるメカニズムが必要</p>
<p>エアスライド</p>	<p>(1) システムが簡単 (2) 装置寸法に比して輸送量大きい (3) 流動化する粉体に限定される (4) 水平輸送に限定される</p>

3.5 検討結果の考察

本節では、前節までの検討で、硝酸ウラニル結晶の移送装置として考えられる装置とそれぞれの優位点、問題点及び評価をまとめた。供給装置に対しては表 3.5.1-1 に、輸送装置に対しては表 3.5.1-2 に結果を示す。なお、空気式の輸送装置については、現時点では「低圧吸引」方式が有望と考えられるが、他の方式にも優位点があることから、ここでは全ての方式を示した。

ここで取り上げた装置については、設計上の種々の工夫を凝らすことで、結晶のハンドリングそのものの実施は十分に可能と思われる。ただし、晶析操作で得られる硝酸ウラニル結晶は、実際にはセル内で取り扱われると考えられるため、セル内での使用を前提に検討する必要がある。そこで、表 3.5.1-1 及び 2 では、これまでの検討では触れなかったセル内使用への適性についても評価した。

セル内で供給・輸送装置を使用する場合に考慮すべき重要な事項は、機器の保守時にマニピュレータを用いなくてはならない点と、負圧維持が求められるセル内での圧縮空気の使用に課題がある点と考えられる。特に空気式については、低圧吸引以外の全ての方式について圧縮空気が必要である。また、輸送管の磨耗が避けられないため、一定頻度での交換が必要であり、その交換方法に課題がある。一方、機械式では、複雑な駆動部分の保守に課題がある。表 3.5.1-1 及び 2 では、セル内での圧縮空気の使用に関する課題と、ベルトコンベア - 及びバケットコンベア - 方式の供給・輸送機器のセル内保守への課題が比較的大きいものとした。一方、空気式における配管交換に関する課題、機械式での前述の方式を除く輸送機器のセル内保守に関する課題は、これに比べて小さいとして、各方式を評価した。なお、これらの評価は、将来の技術開発で変わる可能性がある。

以上のような前提条件を踏まえた上で、現状で最も適性が高いと判断されるのは、供給装置では、振動スクリー方式である。付着性粒体の移送性に優れている他、保守点検が容易とされているために採用した。電磁・電動（振動）スクリー、テーブル及びステップディスクの各方式についても、課題はあるものの適用性は高いと判断した。一方、移送装置では、課題があるもののスクリー方式と低圧吸引方式の適用性が高いと判断した。しかし、これ以外の全ての方式についても、課題は大きいものの適用できる可能性がある。

なお、これまでの機器に関する検討に加えて、結晶のハンドリング装置の選定では、結晶の粉体物性に大きく影響を与える結晶の吸湿現象やそれに伴う潮解についても留意する必要がある。

表 3.5.1-1 供給装置に関する評価

分類	方式	優位点	問題点	結晶への適用例	評価*
振動	電磁 電動 等	構造簡単	高付着性粉体への適用に大きな課題		
回転運動	スクリー	定量性が高い 特殊スクリーで高付着性粉体にも適用可能	セル内での保守に課題	有り	
	振動スクリー	高付着性粉体・結晶へ適性が高い	供給量小		
	テーブル	定量性が高い 貯槽のブリッジ解消能力が高い	セル内での保守に課題	有り	
	ステップディスク	高付着性粉体・結晶への適性が高い	セル内での保守に課題		
エンドレスベルト	ベルトエプロンチェーン	実施例があり、結晶への適性が高い	セル内での保守に大きな課題	有り	
流動化	流動タンク	実施例が有り、適性が高い	セル内での圧縮空気の使用に大きな課題	有り	
	エアスライド	機械的駆動部分が無く、保守性が高い	垂直輸送が不可能 セル内での圧縮空気の使用に大きな課題		

* : 適性高い、 : 課題あるが適性高い、 : 課題あるが適性あり

表 3.5.1-2 輸送装置に関する評価

分類	方式	優位点	問題点	結晶への適用例	評価*
機械	スクリーン	定量性が高い 特殊スクリーンで高付着性粉体にも適用可能	セル内での保守に課題 移送距離が短い	有り	
	ベルト	実施例が多く、結晶への適性が高い	セル内での保守に大きな課題	有り	
	ピボ デッド (バケット)	実施例が多く、結晶への適性が高い	セル内での保守に大きな課題	有り	
空気	低圧吸引	圧縮空気が不要	セル内での保守（特に配管交換）に課題		
	低圧圧縮	輸送距離が低圧吸引より長い	セル内での保守（特に配管交換）に大きな課題 セル内での圧縮空気の使用に課題		
	高圧高濃度	長距離輸送に適する		有り	
	プラグ	捕集設備が小型 低速高濃度輸送であり、結晶や輸送管の磨耗がすくない			
	エア スライド	機械的駆動部分が無く、保守性が高い			

* : 適性高い、 : 課題あるが適性高い、 : 課題あるが適性あり

3.6 まとめ

本章では、2章における硝酸ウラニル結晶の粉体物性測定結果を踏まえ、結晶移送に適用可能と思われる機器を列挙し、またその優位性、問題点等を示した。その結果、供給装置については、ベルトフィーダ、スクリー式フィーダ、振動式電磁フィーダ等の適性が高く、特殊設計を許容すれば、さらに装置選択の範囲が広がることが示された。一方、機械式の輸送装置については、ピボテッドコンベア、ベルトコンベア、スクリーコンベア、ジッパーコンベアの適性が高いことが示された。また、空気式の輸送装置については、「低圧吸引」方式が有力と思われる。しかし、セル内使用を考慮すると、セル内での圧縮空気の使用が困難なこと、駆動部分の保守や配管交換等に課題があり、今後の検討を要すると思われる。

4. おわりに

先進湿式再処理法で着目する晶析法において、製品である硝酸ウラニル結晶を脱硝転換工程に導入する場合、搬送のために結晶を水や硝酸に溶解することは、晶析法導入再処理プロセスの利点を損なうことにつながり好ましくない。結晶を水や硝酸に溶解せずに搬送するには、結晶のまま移送する方法と熔融塩として移送する方法が考えられる。本試験では、二つの方法の内、結晶のまま移送する方法を対象とした。

はじめに、結晶の移送設備や貯蔵設備を設計する際に重要な粉体物性を測定し、Carrの方法による流動性指数を評価することで、硝酸ウラニル結晶に中程度の流動性があることを確認した。次に、粉体物性を測定した結果を踏まえ、この結晶の移送に適用可能と思われる機器を列挙し、その優位点、問題点等を示した。その結果、結晶移送そのものは十分可能と考えられるが、セル内使用を前提にした場合には、保守性や圧縮空気の使用の是非が課題であり、今後も検討や開発を進める必要があると考えられた。

5. 参考文献

- 1) ホソカワミクロン株式会社：”パウダテスト取扱説明書“
- 2) 粉体機器・装置ハンドブック編集委員会編：”粉体機器・装置ハンドブック”、日刊工業新聞社(1995)
- 3) 日本粉体工業技術協会編：”粉粒体のバルクハンドリング技術”、日刊工業新聞社(1985)
- 4) 最新 粉粒体プロセス技術集成 編集委員会編：”最新 粉粒体プロセス技術集成 プロセス編”、産業技術センター (1974)
- 5) 三澤忠則編：”増補 晶析 工場操作シリーズ 14”、化学工業社(1974)