

高純度リチウム純化システムの設計作業

仕 様 書

令和8年10月

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

六ヶ所フュージョンエネルギー研究所

核融合炉材料研究開発部

核融合炉構造材料開発グループ

1 一般仕様

1.1 件名

高純度リチウム純化システムの設計作業

1.2 目的

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（以下「QST」という。）では、発電用ブランケットの開発のため、各種材料分析装置の整備に加えて、大面積熱負荷試験装置の増強、安全実証試験装置の増強や、強磁場環境下での性能試験に向けた技術開発を進めている。発電用ブランケットでは増殖材としてリチウムを用いることが検討されており、その発電用ブランケットの安全実証試験を行うにあたり、高純度のリチウムを用いることが必須である。本仕様は、安全実証試験装置の増強の一環として、構造材料の共存性試験のためのリチウム純化システムの設計を行うものである。

1.3 契約範囲

本仕様に定める作業の範囲は以下とする。

高純度リチウム純化システムの設計	1 式
報告書の作成	1 式

1.4 納期

令和 9 年 3 月 19 日

1.5 貸与品

なし

1.6 納入物

- 1) 表 1 に示す図書を指定された時期に指定部数、1.7 項記載の納入場所に納入すること。
- 2) 提出図書は指定部数の冊子体の他に電子版を提出すること。電子版のファイル形式は QST と受注者協議の上、決定するものとする。

表 1 提出図書

図書名	提出時期	部数	確認
作業体制及び工程表	契約後速やかに	1部	不要
打合せ議事録	打合せ後2週間以内	1部	要
報告書	作業完了時	1部	要

要確認図書の確認方法は以下とする。QSTは、確認のために提出された図書を受領したときは、期限日を記載した受領印を押印して返却する。また、当該期限までに確認を完了し、受理しない場合には修正を指示する。修正等を指示せず受理する場合、その旨通知するか当該期限をもって受理したものとする。この確認は、確認が必要な図書1部をもって行うものとする。

ただし、再委託承諾願(QST指定様式)については、QSTが確認後、文書にて回答するものとする。

1.7 納入場所

青森県上北郡六ヶ所村大字尾駸字表館 2 番地 166

QST 六ヶ所フュージョンエネルギー研究所 ブランケット工学試験棟事務室 1

1.8 検査条件

1.6 に示す提出図書の内容確認、2.4 に示す試作体の員数・外観検査の合格及び報告書の記載内容が本仕様書に定める技術仕様を満足することを確認したこともって検査合格とする。

1.9 協議

契約後速やかに、担当者と詳細について打ち合わせること。また本仕様書に記載されている事項及び本仕様書に記載のない事項について疑義が生じた場合は、QST と協議の上、その決定に従うものとする。

1.10 グリーン購入法の推進

本契約において、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に適用する環境物品（事務用品、OA機器等）が発生する場合は、これを採用するものとする。本仕様書に定める提出図書（納入印刷物）については、グリーン購入法の基本方針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

2 技術仕様

2.1 作業内容

受注者は、次節以降に示すリチウム純化の概要に適した純化装置体系の設計を行う。特に、当該リチウム純化においては既存のリチウム純化システムと同等の純化レベルを有し、指定数量の 1/5 未満である小バッチで処理することが必要であり、必要な純化装置や配管継手類を使用環境に応じて適切に選定、配置することが必要不可欠であることから、これらの内容を熟慮した上で成立しうる純化装置体系と関連する機器構成の提案を行う。内容の詳細については契約後に担当者と協議のうえ決定する。

2.2 試験の概要

本仕様で設計する小型高純度リチウム純化システムは、2 種類の方式となっている。一つは主循環系にて循環させつつ各種純化系を通すことで目標の酸素、窒素レベルまで純化させ、系外に取り出すことでリチウムの純化処理を行うものである。もう一つは、とある数量のリチウムを真空容器に装填し、蒸留することで不純物除去を行う。いずれも専用ポートないしは取り出しポートから純化レベルに到達しているか確認のため少量サンプリングを行い、系外にて目標純度に到達しているか確認する。

2.3 リチウム循環純化供給システムの設計

(1) リチウム循環純化供給システム要求仕様

図 1 並びに以下のリチウム純化系実証試験装置の要求仕様に基づいて(2)以降の設計を実施する。

- (ア) 総リチウムインベントリは 10kg 以下とする。
- (イ) 純化リチウムを系外へ取り出すためのサンプリング装置を設けること。サンプリング量は全量または純化レベル確認用の少量に対応するよう設計すること。その際に純化したリチウムが汚染しないよう設計すること。
- (ウ) 純化運転において循環運転できる機構とすること。循環流量は、装置サイズを最小化することや総リチウム量を考慮したうえで決定すること。
- (エ) リチウム中の溶存酸素及び窒素濃度を目標値 10ppm 以下に下げするため、コールドトラップと窒素トラップを設ける。
- (オ) 各トラップの同時運転は実施しないものとする。
- (カ) 各トラップ他、温度変更を要する機器を除くループ温度に関し、運転温度は 250～350℃、最大温度は 400℃とする。
- (キ) メインループ系に加え、各機器のダンプタンクへのドレンラインを設置する。なお、各機器からのドレンラインの中でも、特にトラップ機器類からのドレンリチウムが電磁ポンプや電磁流量計を通らないように設計する。
- (ク) 全ループ系に関し、リチウムドレン時にダンプタンク以外の部分におけるリチウム滞留が生じない構造に設計する。

(2) 機器リストの作成

前項(1)に基づき機器仕様を含む機器リストを作成する。なお、リチウム純化供給システムは下記、各種機能を有する機器により構成するものとする。設計の進展に応じて、項目の追加または削除を実施できることとする。

- (ア) ダンプタンク
 - ① リチウムインベントリ総量を常温で十分に保持できる容量・構造を有すること。
 - ② 液面計等内部リチウム量を測定できる機器装備を有すること。

(イ) 電磁ポンプ

- ① 液体リチウムを任意の流量で送液する機能を有すること。

(ウ) 電磁流量計

- ① 液体リチウムの流量を測定する機能を有すること。

(エ) 膨張タンク

- ① リチウムインベントリ総量の 2/3 を十分に保持できる容量・構造を有すること。
② リチウム充填や補充、不純物制御用ガスを導入できる機能を有すること。
③ 液面計等内部リチウム量を計測できる機器装備を有すること。

(オ) 加熱器 A

- ① ループ内リチウムを窒素トラップ運転温度まで流動環境下で加熱する機能を有すること。

(カ) 加熱器 B

- ① コールドトラップからループに戻るリチウムを流動環境下でループ運転温度まで加熱する機能を有すること。

(キ) 冷却器

- ① 窒素トラップからループに戻るリチウムを流動環境下でループ運転温度まで冷却する機能を有すること。

(ク) 冷却器冷却ブロア

- ① 空冷式冷却器(キ)に必要な量の空気を送気する機能を有すること。

(ケ) コールドトラップ

- ① トラップ内に低温部を有し、当該低温部温度における飽和溶解度以上の不純物を析出捕捉する機能を有すること。
② 運転温度は 200～350℃とし、最大温度は 400℃とする他、ループ運転温度よりも低温部温度が 50℃低い温度で運転できることとすること。

(例) ループ運転温度 250℃の時にコールドトラップ低温部の温度が 200℃を達成できること。

(コ) コールドトラップ冷却ブロア

- ① コールドトラップに空冷による低温部を作る上で必要な量の空気を送気する機能を有すること。

(サ) 窒素トラップ

- ① 内部に窒素トラップ材(5%Ti/Fe 合金微小球)を有し、化学的にリチウム中の窒素を捕捉する

機能を有すること。

② トラップ材の機器外への移行を阻害する機能を有すること。

③ 運転温度は 550～600℃とし、最高温度は 650℃とすること。

(シ) エコノマイザ A

① 窒素トラップ温度を維持するための熱リサイクリング機能を有すること。

(ス) エコノマイザ B

① コールドトラップ温度を維持するための熱リサイクリング機能を有すること。

(セ) サンプリング装置

① ループ中液体リチウムをサンプリングする機能を有すること。

② サンプリング装置由来の不純物影響を極力排する構造を有する他、不純物の偏析を防ぐための急冷機能を有すること。

(ソ) ベーパートラップ A/B

① A: ダンプタンク/B: 膨張タンク排気ガス中のリチウム蒸気を捕捉し、ガス供給・排気系へのリチウム蒸気の移行を阻害する機能を有すること。

(タ) 窒素トラップ真空排気装置

① 窒素トラップ温度 600℃の真空断熱槽の真空を維持するための高真空排気性能を有すること。

(チ) サンプリング装置用真空ポンプ

① サンプリング装置内空気の除去およびベーキング時の真空排気を可能とする性能を有すること。

(ツ) ガス供給排気系

① ダンプタンクや膨張タンクにガスをチャージし、またチャージしたガスの排気を可能とする性能を有すること。

(テ) 弁、配管

① リチウムによる腐食等が生じにくい材質を用いること。また、リチウム漏洩が生じにくい施工を施すこと。

② コールドポイントが生じないように、均一に予熱、加熱、保温ができる構造とすること。

(3) リチウム純化供給システム系統図の作成

(2)にて作成した機器リストに基づき、系統図を作成すること。

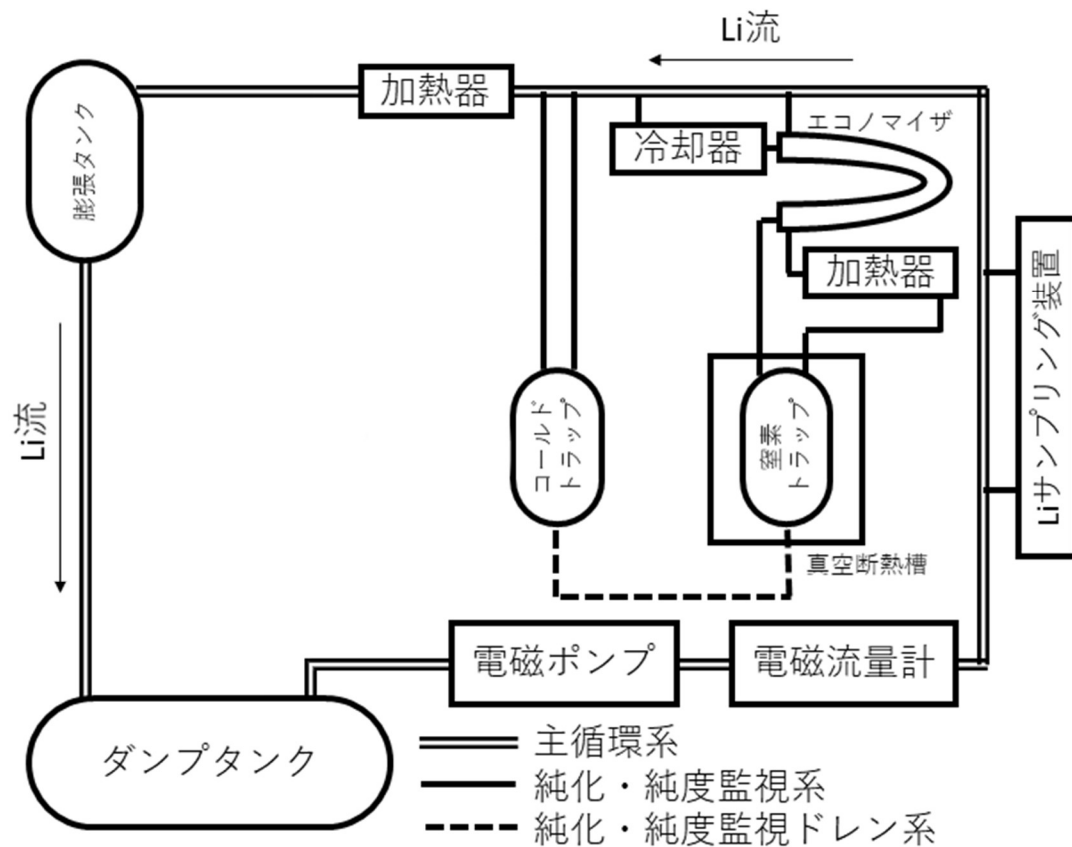


図1 リチウム循環純化システム概念図

2.4 リチウム蒸留純化供給システムの設計

(1) リチウム蒸留純化供給システム設計思想

本システムは、蒸留系、真空排気系、電気炉・温度制御系、アルゴンガス供給系、精製リチウム封止・取出し系、るつぼ交換機構、グローブボックス系、安全系から構成される。それぞれの設計思想は以下のとおりである。

1. 蒸留系（るつぼ・蒸気ガイド・精品受け）

真空下で Li のみを選択的に蒸発させることで、O・N 等不純物をるつぼ残渣に濃縮分離する。蒸気ガイドは上部が広く下部が狭い集束テーパーとし、蒸発した Li 蒸気を漏斗状に精品受けへ導くことで回収効率を高める。

2. 真空排気系

蒸留開始前に 1 Pa 以下の真空度を確保することが不可欠である。ターボ分子ポンプとオイルフリーのスクロールポンプを組み合わせ真空排気を行う。チャンバーとポンプの間に水冷バッフル（コー

ルドトラップ)を設置し、Li 蒸気のポンプ到達を防止してポンプの寿命と信頼性を確保する。

3. 電気炉・温度制御系

蒸発部と精品受け部に適切な温度勾配を形成する。Li 蒸気の一方向流れを確保し、精品受けでの効率的な凝縮を実現する。

4. アルゴンガス供給系

6N (99.9999%) 高純度アルゴンを 2 系統に分岐して供給する。第 1 系統はチャンバーのバックフィル用であり、蒸留完了後の冷却時にチャンバー内を不活性雰囲気気置換する。第 2 系統は精品受けの封止用であり、取出し前に精品受け内部を Ar 置換して精製 Li の酸化・窒化を防止する。いずれも蒸留中は閉止し、真空系との干渉を避ける。

5. 精製リチウム封止・取出し系

精製 Li の汚染を最小化するため、精品受け自体を着脱式密封容器として設計する。

6. るつぼ交換機構

蒸留残渣には不純物が濃縮されるため、任意のタイミングでるつぼを交換できる構造とする。交換用予備るつぼを 2 個以上準備し、バッチ間の停止時間を最小化する。

7. グローブボックス系

本装置のすべての構成機器（蒸留本体、真空排気系、Ar 供給系、精品受け着脱部）をグローブボックス内に設置し、装置運転・Li 装填・るつぼ交換・精品受け切離しの全操作を Ar 雰囲気下で完結させる。GB 内の酸素・水分濃度をそれぞれ 1 ppm 未満に管理することで、Li 取扱い中の酸化・窒化を防止し、蒸留前後を通じた不純物混入経路を遮断する。

8. 安全系

金属リチウムは大気中で容易に燃焼し、水との接触で水素を発生するため、漏えい防止と緊急対応機構を設ける。

(2) リチウム純化供給システム要求仕様

下記リチウム純化系実証試験装置の要求仕様に基づいて(3)以降の設計を実施する。

(ア) 総リチウムインベントリは 10kg 以下とする。

(イ) 純化リチウムを系外へ取り出すためのサンプリング装置を設けること。その際に純化したリチウムが汚染しないよう、真空またはアルゴンで封ができるよう設計すること。

(ウ) リチウム中の溶存酸素及び窒素濃度を目標値 10ppm 以下に下げするため、蒸留機構を設ける。蒸留はモリブデンるつぼに装填したリチウムを負圧にて加熱(700～900℃程度)

することで蒸気とし、蒸気をガイドに沿って液化することで蒸留を実施することとし、蒸留に関わる配管やサンプリング部は蒸留リチウムの汚染を防ぐためチタンやモリブデンの内張りを施すこと。それ以外の部分に関しても過度な不純物混入を避けるため SUS430 等を用いること。

(エ) 蒸留後のるつぼには残存不純物が濃縮されることが想定されるため、任意のタイミングにてるつぼを交換できる機構を設けること。

(3) 小型モックアップ試作を通じた設計および課題抽出

前項(1)および(2)を考慮しつつ、本製作に向けた小型モックアップ(1個)を試作し、設計の詳細化並びに課題の抽出を行うこと。小型モックアップ試作については図 2 並びに以下の各部品に関わる特記事項を考慮して製作し、試作を通じて得られた設計について報告書をまとめること。製作した試作体は納品時に送付すること。

1. 上蓋

NW タイプのブランクフランジの中心に貫通するように SUS430 製の温度計測用鞘管を溶接する。

鞘管の先端は温度計測のため、細くなるよう加工すること。

鞘管には SUS430 製の熱シールドを 5mm 間隔で複数枚設けること。

鞘管先端付近に純化用リチウム装填用のるつぼを吊り下げするための機構を設けること。るつぼはモリブデン製として、参考寸法は直径 50mm 程度、高さを 40mm 程度とする。

2. 胴

胴の全長及び外径は選定した電気炉に合わせて選定すること。

電気炉を避けるように真空排気用のポートを設けること。

漏斗形上の蒸留リチウムのガイドを設け、一部溶接するなど胴内部に固定すること。ガイドの素材はチタンまたはモリブデンとすること。ガイドの先端は直径 10mm 程度の孔が空くよう切断加工を施し、ガイド先端が精品受けにかかるくらいの長さとする。参考とするガイドの傾斜角は壁面に対し 10° 程度とする。

3. 精品受け

製品受けは SUS430 製とすること。蒸留した精品は精品受け内部に設置したチタン箔またはモリブデン箔にて回収することを考慮した設計とすること。

その他、指定なき部分の素材は既製品を用いる場合を除き、SUS430 製とする。

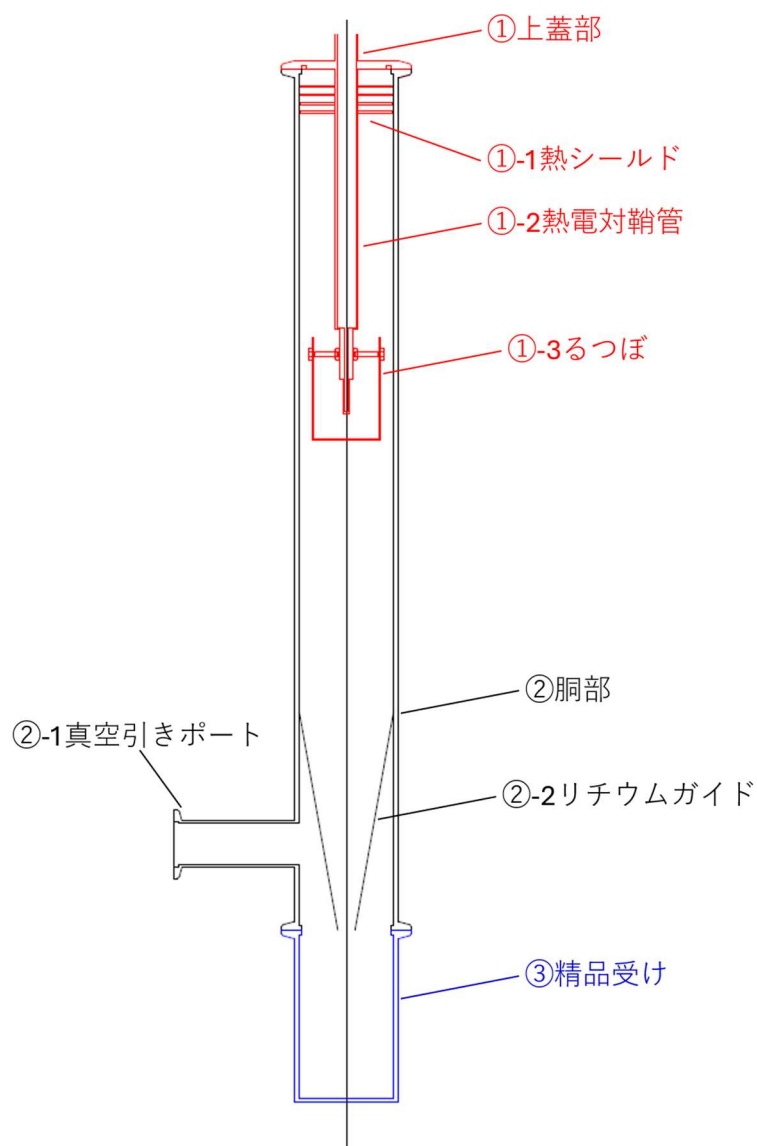


図 2 リチウム蒸留純化システムモックアップの概念図

報告書の作成

本業務で提出する報告書には各純化装置のそれぞれについて、設計について報告書としてまとめて提出すること。

以上