

平成 27 年度 戦略的基盤技術高度化支援事業
「ダイヤモンド膜高耐食性ドライ真空ポンプを用いた
VOC 蒸発分離による革新的溶剤リサイクル装置の実用化」

研究開発成果等報告書

平成 28 年 3 月

委託者 関東経済産業局
委託先 一般財団法人金属系材料研究開発センター

目次

第 1 章	研究開発の概要	3
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2	研究体制	6
1-3	成果概要	8
1-4	当該研究開発の連絡窓口	10
第 2 章	本論	11
2-1	VOC 及び溶剤に対するドライ真空ポンプの高耐食化技術の確立	11
2-2	高耐食性ドライ真空ポンプ性能評価	15
2-3	「空気流動真空蒸発法」による溶剤リサイクル装置の実用化	17
2-4	冷却凝縮装置の運転パラメーターの最適化と性能評価	24
第 3 章	全体総括	30
3-1	研究成果	30
3-2	事業化計画	30

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

自動車、半導体、環境やエネルギー、印刷情報等の様々な工場、事業所から使用済みの廃溶剤が排出されている。使用済みの廃溶剤は、高純度な再生を要求されなければ、再生して循環使用するか、洗浄用途の溶剤として再利用することができる。しかしながら、再生が行われず、大量の廃溶剤が産業廃棄物として廃棄されているのが現状である。多くは燃焼され処理されているが、二酸化炭素を排出して地球温暖化を招き、エネルギーコストも問題となる。3R(※1)の観点から廃溶剤量削減のため、再生して再利用する事が不可欠である。

使用済み廃溶剤の主な化学成分は揮発性有機化合物(VOC)であり揮発、蒸発しやすい性質を持つ。VOCは、有害物質であるばかりでなく大気汚染や健康被害をもたらす浮遊粒子状物質や光化学オキシダントの原因物質でありその削減は重要な課題である。本研究では、従来法である加熱蒸留法(図 1-1-1)や真空蒸着法(図 1-1-2)ではなく、廃溶剤を真空容器に導入し、VOC を蒸発分離して回収し再生する「空気流動真空蒸発法」(図 1-1-3)の技術の実用化を目指す。

※1…3R: Reduce(リデュース)、Reuse(リユース)、Recycle(リサイクル)

従来法 1: 加熱蒸留法による除去液からの VOC 熱脱着蒸留

沸点(蒸気圧)の違いを利用して混合物から特定成分を分離・濃縮する方法である。除去液の加熱冷却が必要で熱エネルギーコストが大きい、引火性溶剤には対応不可等の課題がある。

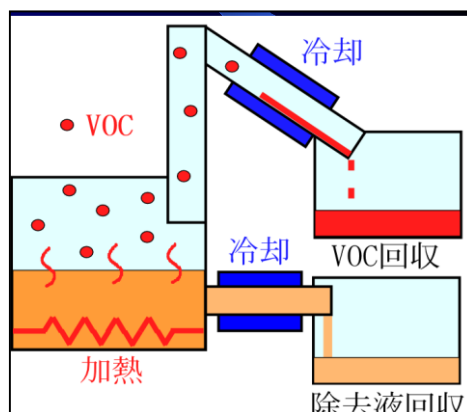


図 1-1-1 加熱蒸留法による除去液からの VOC 熱脱着蒸留

従来法 2: 真空蒸着法 (PV 法) による除去液の分離回収

気液の境界面に透過抵抗となるシリコン膜等を使用し、分離・濃縮する方法である。加熱・冷却の必要はない。蒸発速度が遅く、処理量が小さい、高真空が必要なため、装置が大型化・高価格化する等の課題がある。

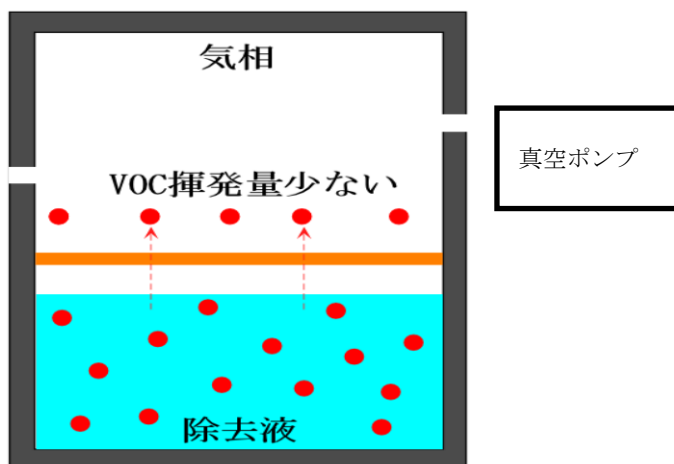


図 1-1-2 真空蒸発法 (PV 法) による除去液の分離回収

新技術: 空気流動真空蒸発法による VOC 分離回収

低真空領域で VOC を蒸発し、導入空気により効率的に分離・濃縮する方法である。廃溶剤を微小なミストとして直接噴霧することで蒸発表面積を拡大、蒸発速度を向上させることができる。真空蒸着法と比べ、高真空を必要としないため、装置の軽量化・低コスト化が可能となる。

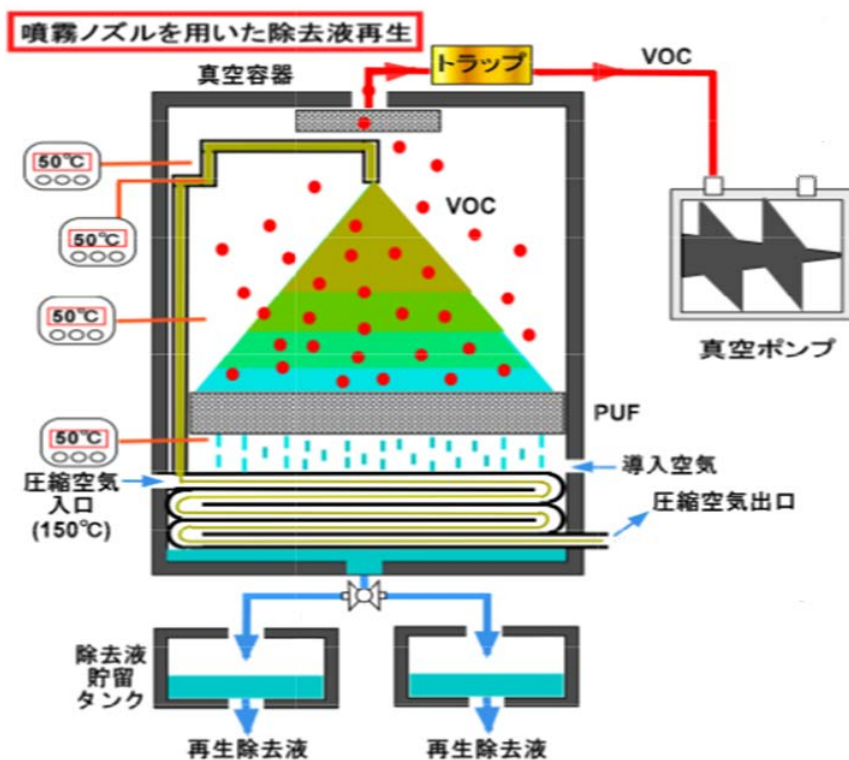


図 1-1-3 空気流動真空蒸発法による VOC 分離回収

(2) 研究目的及び目標

本研究の目的は、「空気流動真空蒸発法」を用いて VOC を蒸発分離し、回収・再生する廃溶剤のリサイクル装置を開発し、新たな市場を開拓することである。本リサイクル装置は、真空蒸発法のように数 Pa の高真空を必要としないため、高真空用の真空ポンプや真空容器の厳密な耐久性が求められることもなく、装置の軽量化、低コスト化が期待できる。

VOC の蒸発分離に使用するドライ真空ポンプは、従来のドライ真空ポンプでは廃溶剤により内部が短期間で腐食し、ランニングコストの増加が課題となる。このため、溶剤や VOC 等に対して高耐食性を持つ低真空領域において高性能なダイヤモンド膜ドライ真空ポンプを実用化する必要がある。

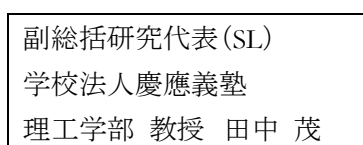
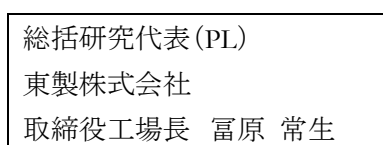
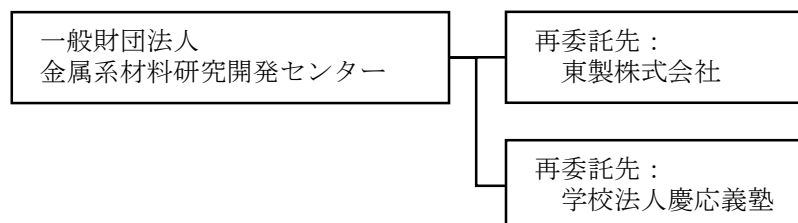
VOC 及び溶剤に対する高耐食性が確立されたダイヤモンド膜ドライ真空ポンプが実用化されれば、太陽光発電用シリコン単結晶引上げ装置の大型化に伴う大容量ドライ真空ポンプとしても使用することができ、普及・拡大が見込める。

「空気流動真空蒸発法」では、従来の真空蒸着法とは異なり、蒸発する VOC の透過抵抗となるシリコン膜、テフロン膜を使用せず、直接、廃溶剤を噴霧ノズルで真空容器内に微小なミストとして噴霧する。膜分離とは異なり、意図的に真空をリークして数千 Pa 程度の低真空領域で真空容器内に空気を流動させ、廃溶剤からの VOC 蒸発表面積を飛躍的に拡大することで、廃溶剤から大量の VOC を蒸発させ、効率良く真空容器から排出できる。その結果、従来の膜分離の真空蒸着法と比較して、「空気流動真空蒸発法」は、廃溶剤からの VOC 蒸発速度を 2 桁以上向上でき、大量の廃溶剤のリアルタイムでの再生処理が実現できる。様々な産業分野での工場、事業所で本溶剤リサイクル装置が普及すれば、溶剤の再生・再利用を促進し、廃溶剤及びエネルギーコストの削減に寄与することができる。

1-2 研究体制

(1) 研究組織並びに管理体制

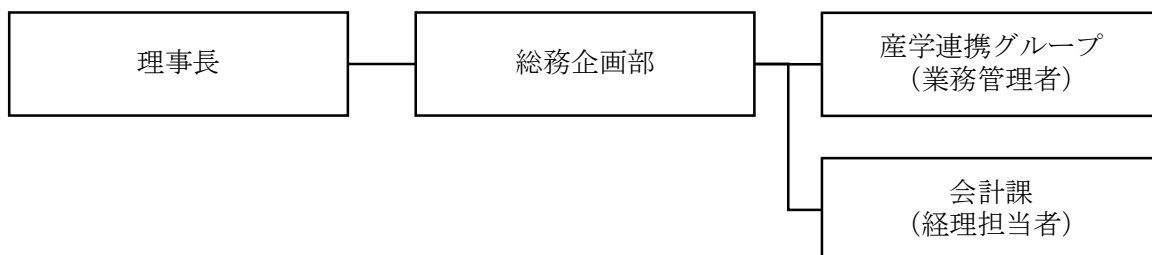
本研究開発組織を以下に示す。



関係各組織の管理体制を以下に示す。

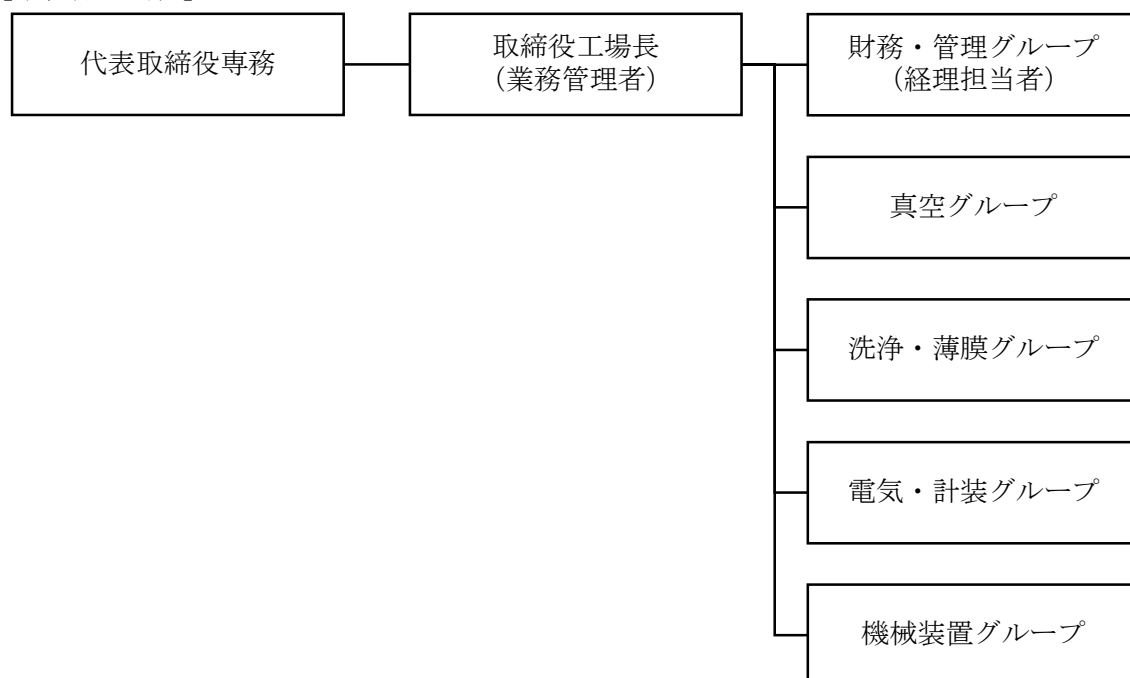
①事業管理機関

[一般財団法人金属系材料研究開発センター]

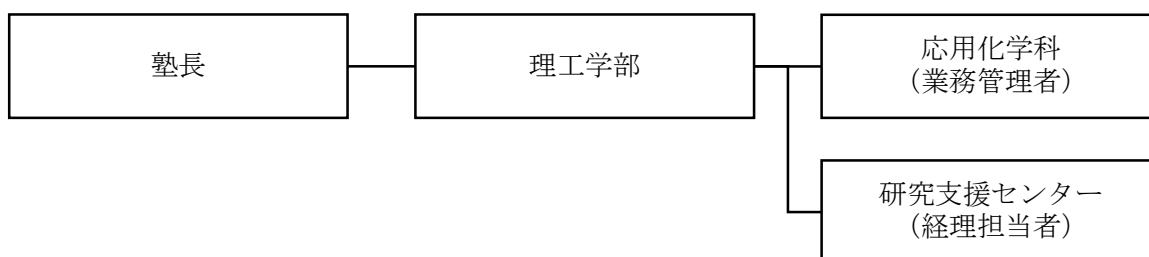


②再委託先

[東製株式会社]



[学校法人慶應義塾]



(2) 管理員及び研究員

本研究開発に従事した管理員、研究員を以下に示す。

①管理員

事業管理機関：一般財団法人金属系材料研究開発センター

総務企画部 産学連携グループ 主席研究員 箕浦 忠行

総務企画部 産学連携グループ 主任研究員 浜田 ちひろ

②研究員

再委託先：東製株式会社

取締役専務 長光 育司朗

取締役工場長 富原 常生(PL)

真空グループ 鈴木 康弘

電気・計装グループ 伊藤 正幸

技術グループ 河野 純一

洗浄グループ 千葉 直樹

真空グループ 宇田津 佑介

洗浄グループ 海老名 博紀

洗浄グループ 蔵本 翔太朗

技術グループ 宮原 佑介

再委託先：学校法人慶應義塾

理工学部 応用化学科 教授 田中 茂(SL)

(3) 協力者(アドバイザー)

本研究開発の協力者(アドバイザー)を以下に示す。

大晃機械工業株式会社 陸上事業部 陸上設計部 木下 雅之

1-3 成果概要

各研究開発テーマに対して、当初設定した技術目標に対する達成度は以下の通りである。

(1) VOC 及び溶剤に対するドライ真空ポンプの高耐食化技術の確立

従来品において耐食性があるとされるカニゼンめっきやクリーン S コーティングを施した真空ポンプは高価であり、かつ腐食性の強いガス等にはあまり耐久性がなかった。本研究では VOC 及び溶剤に対し耐食性のあるダイヤモンド膜と特殊ニッケル下地を接ガス部品にコーティングすることで、従来品よりも安価かつ耐食性に優れたドライ真空ポンプを開発した。

テストピースレベルでの実験データとしては、96 時間のガス曝露試験を実施し、新技術は腐食性ガスに対し高い耐食性があることを確認した。実機レベルでは、(2)で述べる性能評価試験を実施し、良好な結果を得られた。また、コーティング手法の工程については検討を重ね、コストダウンに努めた。

(2) 高耐食性ドライ真空ポンプの性能評価

平成 25・26 年度には客先を想定した環境での性能評価試験を実施し、試験結果から(1)の高耐食化技術の下地処理方法の検討とダイヤモンド膜成膜方法の改善を重ねた。

平成 27 年度には、特殊ニッケル下地処理とダイヤモンド膜の成膜プロセスを確立し、接ガス部品にコーティングを施した高耐食性ドライ真空ポンプを用いて、川下企業の生産ラインでの性能評価試験を行った。試験期間中、真空度・異音・振動などの問題は生じず、試験後の接ガス部品の状況確認でも、部品の腐食やダイヤモンド膜の剥離はほとんど見られず、高い耐食性が確認できた。

(3) 「空気流動真空蒸発法」による溶剤リサイクル装置の実用化

従来の VOC 分離回収装置は引火性のある溶剤に対応できない、高真空度が必要なため装置が大型化・高価格化する等の問題があった。本研究では溶剤噴霧タンク・高耐食性ドライ真空ポンプ・冷却凝縮装置をユニット化し低真空領域内で効率的に分離・濃縮することで、装置の軽量化・低コスト化が可能となった。

各年度における溶剤リサイクル装置の運転パラメーターの最適化と性能評価試験の結果は以下のとおりである。

平成 26 年度は、溶剤(TPGME)からの蒸発分離(蒸発温度 50℃)による DCM、TCE の回収率は、87.5%と 64.2%(2014 年 7 月)、83.9%と 71.8%(2014 年 11 月)、79.0%と 62.2%(2015 年 1 月)であった。平成 27 年度は、溶剤リサイクル装置の改造を行った結果、溶剤(TPGME)からの蒸発分離(蒸発温度 42℃)による DCM、TCE の回収率は、93.2%と 94.7%(DCM)、63.9%と 65.8%(TCE) (2015 年 11 月)と若干向上することができた。

これらの実験結果から、溶剤(TPGME)から DCM をリアルタイムで 93%以上の高い回収率で蒸発分離できることが確認できた。また、TCE については、蒸発温度 42℃では、蒸発分離による回収率は 65%程度であったが、TCE の沸点が 87℃であり、蒸発温度を 50℃以上(60℃程度)に高く設定すれば、DCM 同様、90%以上の高い回収率で蒸発分離ができる。

(4) 冷却凝縮装置の運転パラメーターの最適化と性能評価

上記の溶剤リサイクル装置で真空度 1,400Pa において、ドライ真空ポンプから冷却凝縮装置へ導入された排気ガス流量は 46.0L/min であった。排気ガス中の水分は、前段の予冷装置(冷却温度 2℃)で冷却凝縮して取り除き、排気ガス中の水分量を 1/5 に減らすことができた。その結果、VOC 冷却凝縮装置の冷却管内での水の氷結によ

る閉塞を防ぎ、溶剤リサイクル装置の長時間連続運転が可能となった。

冷却凝縮装置内の冷却管温度(冷却凝縮温度)は -96.5°C となり、ほぼ想定した冷却凝縮温度にすることができた。排気ガス中 DCM の場合、冷却凝縮装置の入口と出口濃度は 9,920ppm と 11ppm であり、冷却凝縮率は 99.8%と極めて高効率で DCM を冷却凝縮でき、DCM 出口濃度は許容濃度 50ppm 以下に減少することができた。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

事業管理機関

一般財団法人金属系材料研究開発センター

総務企画部 連携グループ 箕浦 忠行

東京都港区西新橋 1-5-11 第 11 東洋海事ビル 6F

Tel. 03-3592-1282 / Fax. 03-3592-1285 / [mailto: tminoura@jrcm.jp](mailto:tminoura@jrcm.jp)

総括研究代表者(PL)

東製株式会社

取締役工場長 富原 常生

千葉県習志野市茜浜 1-12-4

Tel. 047-470-7710 / Fax. 047-470-7715 / [mailto: tomihara@tohsei-co.com](mailto:tomihara@tohsei-co.com)

副総括研究代表者(SL)

学校法人慶應義塾 慶應義塾大学

理工学部 応用化学科 教授 田中 茂

神奈川県横浜市北区日吉 3-14-1

Tel. 045-566-1572 / Fax. 045-566-1572 / [mailto: tanaka@applc.keio.ac.jp](mailto:tanaka@applc.keio.ac.jp)

第2章 本論

2-1 VOC 及び溶剤に対するドライ真空ポンプの高耐食化技術の確立

従来品において耐食性があるとされるカニゼンめっきやクリーン S コーティングを施した真空ポンプは高価であり、かつ腐食性の強いガスにはあまり耐久性がなかった。本研究では、VOC に対し耐食性のあるダイヤモンド膜と特殊ニッケル下地をドライ真空ポンプの接ガス部にコーティングすることで、従来品よりも安価かつ耐食性に優れたドライ真空ポンプの開発に成功した。

研究の過程として、平成 25 年度は、プラズマ CVD 法(図 2-1-1)を用いて接ガス部にダイヤモンド膜を成膜したドライ真空ポンプを試作し、客先を想定した環境で性能評価試験を行った。しかし、プラズマ CVD 法では、大型の部品全体を均一にコーティングすることが難しく、部分的に耐食性が保たれなかった。

平成 26 年度は、ダイヤモンド膜成膜方法の研究を進め、プラズマイオン注入・成膜法(図 2-1-2)を採用した。プラズマイオン注入・成膜法は、自己放電プラズマの技術により、ワーク自身をプラズマ発生源として用いるため、斑が少なく、ワーク形状に沿った形でプラズマ生成が行えるという特徴がある。これにより、真空ポンプの接ガス部のように、大型かつ複雑形状部を有する部品であっても、均一にダイヤモンド膜コーティングを施すことができ、内面や加工された下穴までもコーティングすることができた。

平成 27 年度はさらに研究を進め、現状難しいといわれていたニッケル系コーティング上にダイヤモンド膜を成膜する技術を確立した。下地処理は、複雑かつ入り組んだ形状で、ダイヤモンド膜の均一性が得づらく、耐食性が低くなることが予想される部分をカバーすることを目的としている。

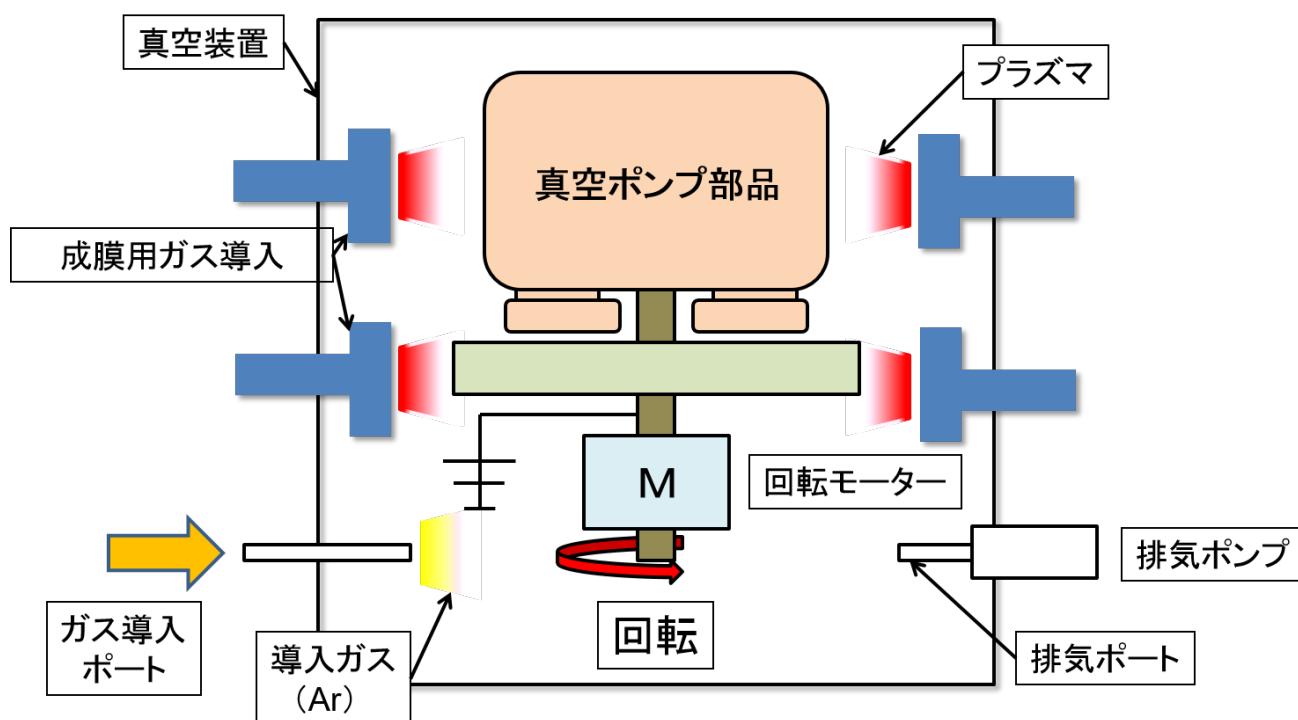


図 2-1-1 プラズマ CVD 法によるダイヤモンド成膜装置 概念図

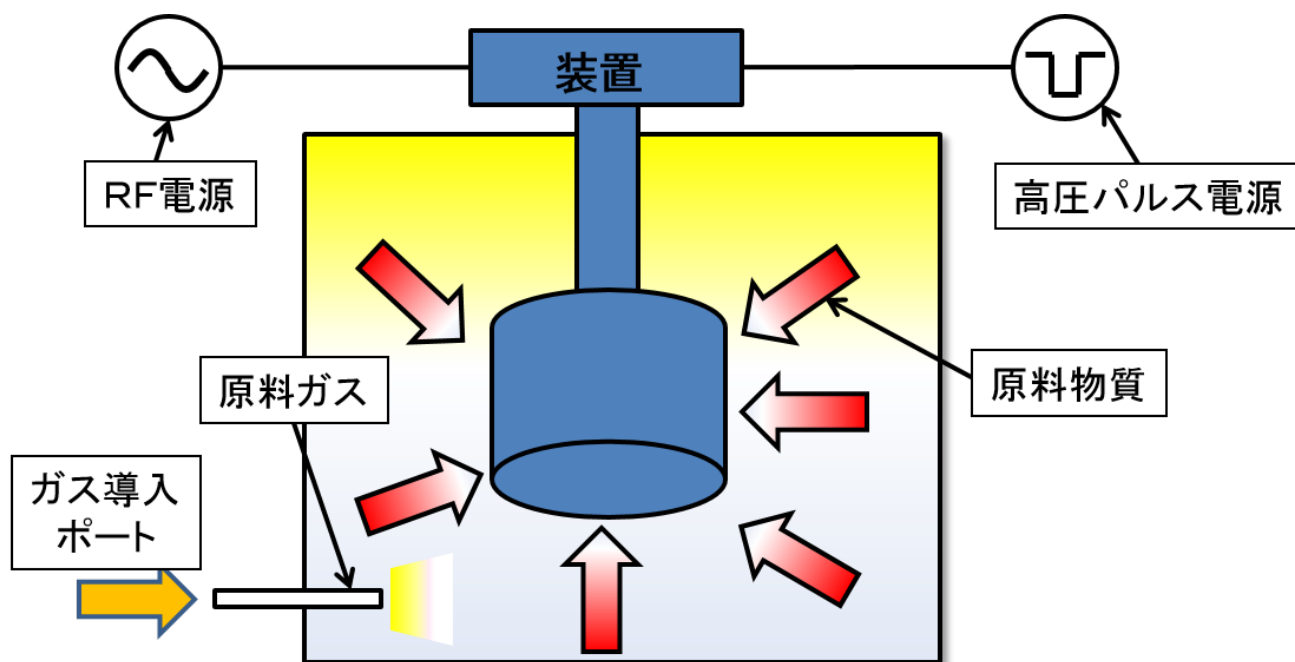


図 2-1-2 プラズマイオン注入・成膜法によるダイヤモンド成膜

プラズマ CVD 法とプラズマイオン注入・成膜法での接ガス部品（ケーシング）の状況写真を図 2-1-3 に示す。写真からもわかるように、プラズマ CVD 法（左・平成 25 年度実施）ではフランジ面で均一にコーティングができず斑が生じているが、プラズマイオン注入・成膜法（右・平成 26 年度実施）ではフランジ・内面共に均一にコーティングすることができた。

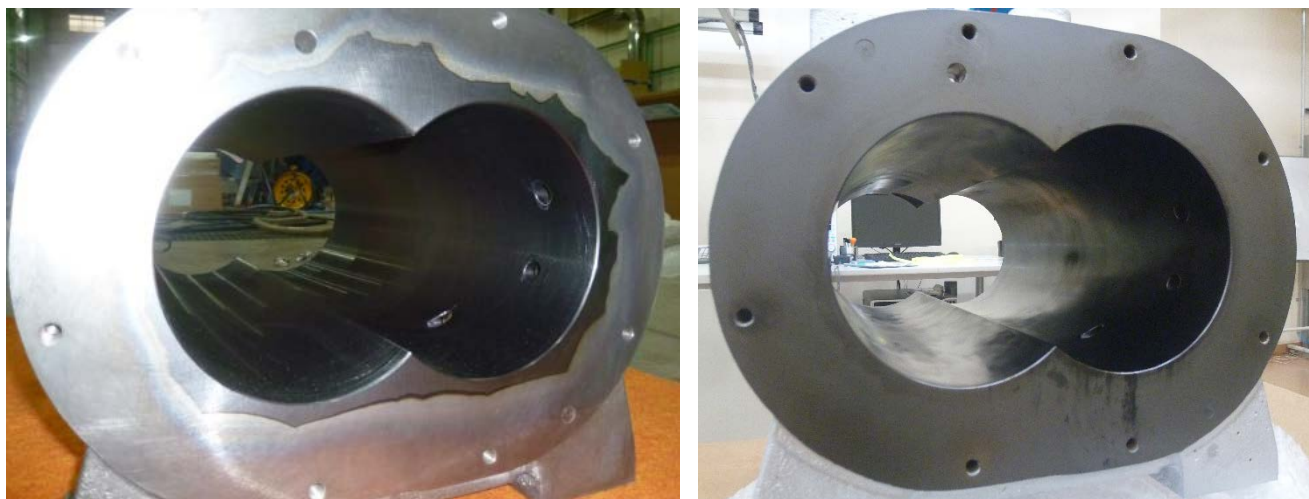


図 2-1-3 プラズマ CVD 法とプラズマイオン注入・成膜法によるダイヤモンド膜コーティング状態の比較（ケーシング）

次にテストピースによる下地処理の検討結果を以下に述べる。表 2-1-1 に示すように、処理温度や含有成分を少しずつ変えたテストピースを用意し、スクラッチ試験とガス腐食試験を実施した。

表 2-1-1 テストピースによる下地処理の比較結果

	スクラッチ試験結果 平均(N)	ガス腐食試験結果 (目視)	総評
①特殊ニッケル A+ダイヤモンド膜	12.8	良好	◎
②特殊ニッケル B+ダイヤモンド膜	12.3	一部で腐食あり	△
③特殊ニッケル C+ダイヤモンド膜	11.4	良好	○
④特殊ニッケル D+ダイヤモンド膜	10.9	良好	○
⑤特殊ニッケル E+ダイヤモンド膜	12.3	全体的に腐食あり	△
⑥無垢+ダイヤモンド膜	9.0	全体的に腐食あり	△

※スクラッチ試験の数値は、ダイヤモンド膜が全剥離した時の数値を示している。各テストピースに対して 3 回試験を行った。

ガス腐食試験前後のテストピースの状態写真を図 2-1-4、図 2-1-5 に、ガス腐食試験後の 30 倍の拡大写真を図 2-1-6 に示す。なお、試験条件は以下の通りである。

試験場所：東京都立産業技術研究センター

試験名：ガス曝露試験

使用ガス：二酸化硫黄ガス(二酸化硫黄濃度 25ppm±5ppm)

温度：40℃±2℃

相対湿度：80%±5%

処理時間：96 時間



図 2-1-4 ガス腐食試験前のテストピース状態(下地処理・ダイヤモンド膜コーティング後)

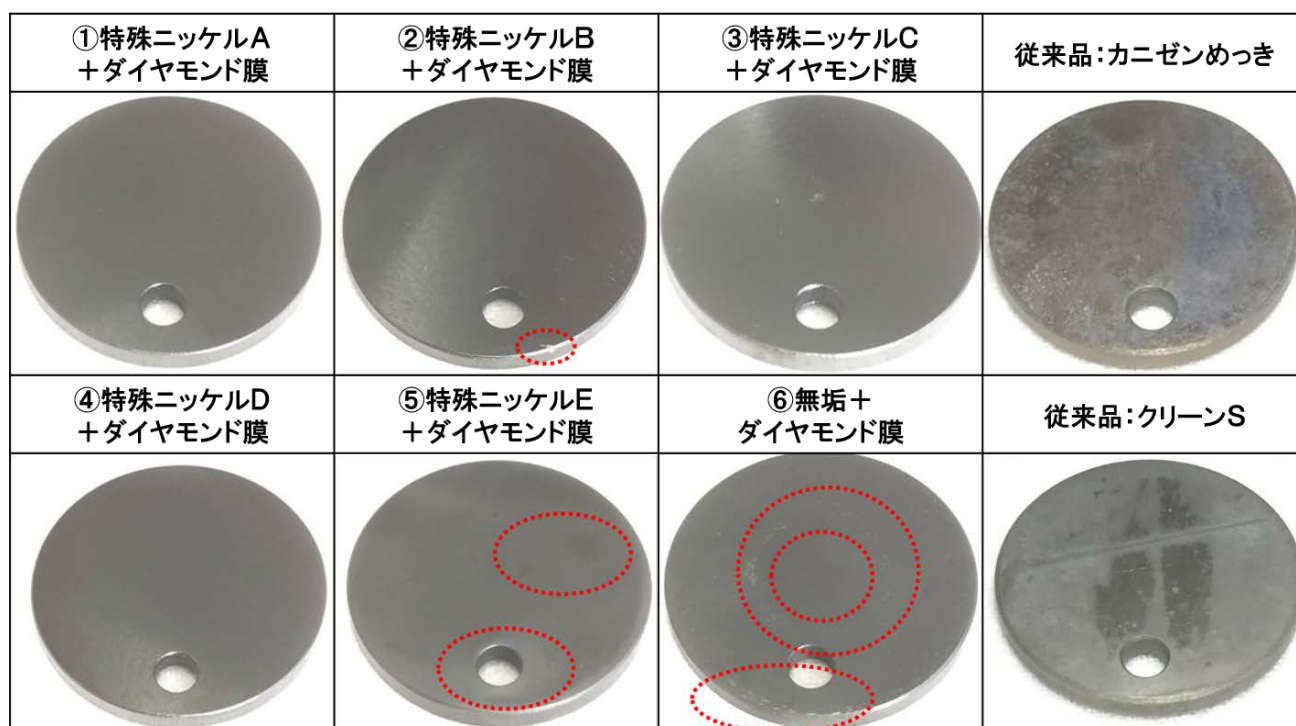


図 2-1-5 ガス腐食試験後の状態写真(96 時間・二酸化硫黄ガス)

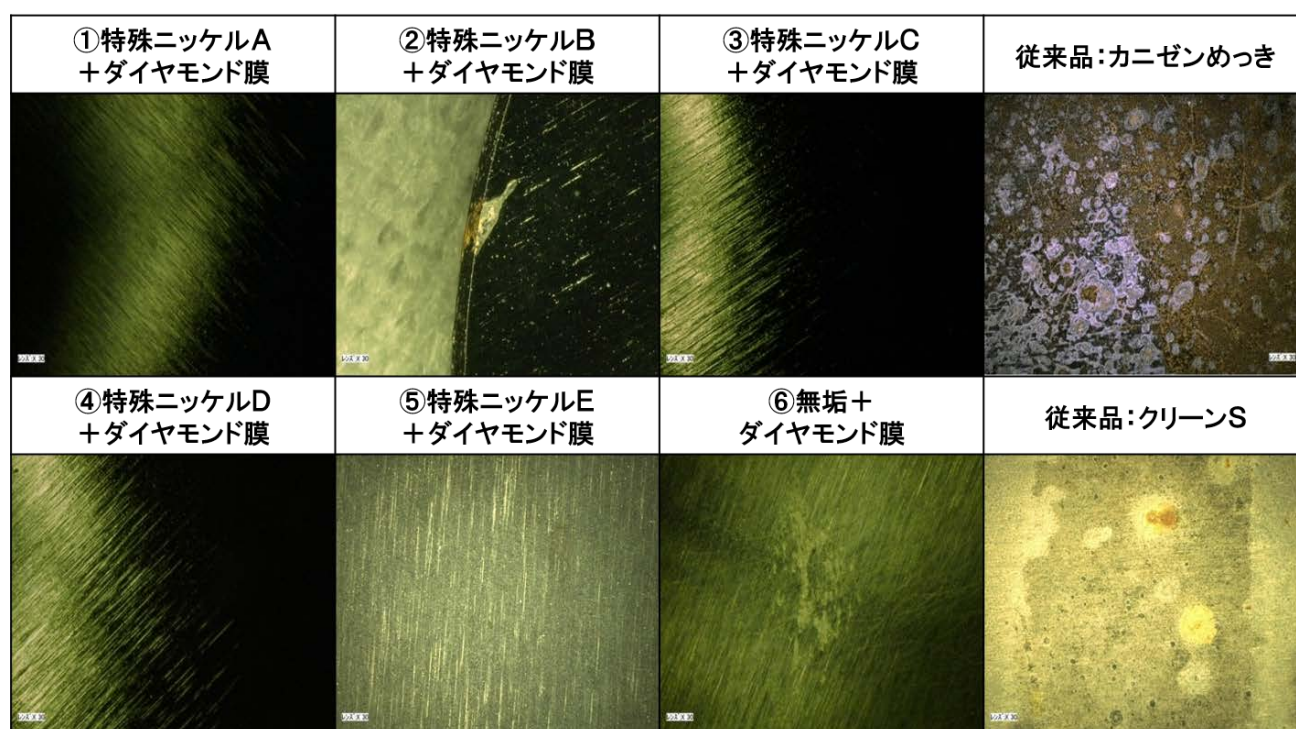


図 2-1-6 ガス腐食試験後の状態写真・30 倍拡大(96 時間・二酸化硫黄ガス)

ガス腐食試験前(下地処理・ダイヤモンド膜成膜後)には各テストピースに大きな違いは見られなかったが、ガス腐食試験後には、目視で違いが確認できた。②特殊ニッケル B+ダイヤモンド膜では、部分的に腐食が、⑤特殊ニッケル E+ダイヤモンド膜では、ガス腐食試験前にはあった光沢がなくなり、全体的に腐食が見られた。①、③、④では、腐食は見られなかった。

2-2 高耐食性ドライ真空ポンプ性能評価

前項の研究成果から、特殊ニッケル下地処理とダイヤモンド膜の成膜プロセスを確立し、接ガス部にコーティングを施した高耐食性ドライ真空ポンプを製作した。平成 27 年度には、川下企業に御協力いただき、ダイヤモンド膜を施したドライ真空ポンプの性能評価試験を実施した。(図 2-2-1 参照) 試験運転を行った川下企業(化学薬品工業・蒸留工程で使用)では、酸系のガスを使用しており、真空ポンプを長時間使用すると図 2-2-2 のように、接ガス部品が茶色く腐食し、使用不可能となる。



図 2-2-1 川下企業での試験運転の様子



図 2-2-2 従来品真空ポンプの部品の腐食状況

性能評価試験中、真空度・異音・振動などに問題は生じなかった。試験後、真空ポンプを分解し、接ガス部品の状況を確認した。部品の腐食やダイヤモンド膜の剥離はほとんど見られず、高い耐食性が確認できた。図 2-2-3、2-2-4、2-2-5 に運転試験前後の接ガス部品の状況写真を示す。(いずれも左が運転試験前、右が運転試験後である。)



図 2-2-3 運転試験前後のスクローローター



図 2-2-4 運転試験前後のケーシング

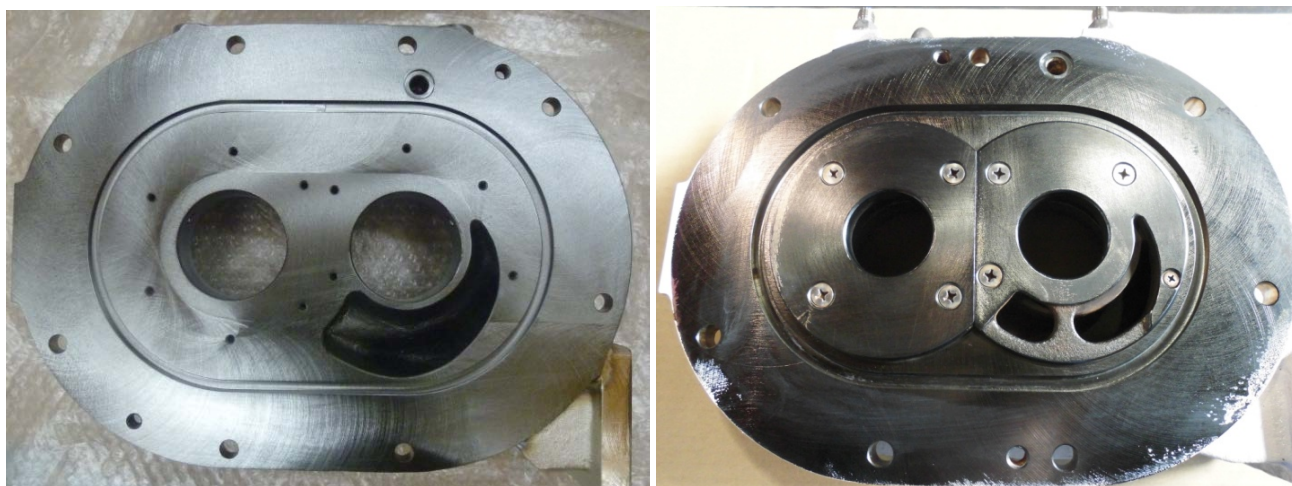


図 2-2-5 運転試験前後のサイドケース A (接ガス面)

スクリーローター(図 2-2-3)では、排気側の一部でダイヤモンド膜の剥離があったが、下地の特殊ニッケルにより耐食性は保たれていた。特殊ニッケルメッキのピンホール部分にダイヤモンド膜分子を打ち込んでいるため、耐食性が向上していると推測される。

ケーシング(図 2-2-4)やサイドケース(図 2-2-5)では、フランジ面の外側や機内温度が高い排気口付近の一部でダイヤモンド膜の剥離が見られたが、内面においては剥離もなく、耐食性が保たれていた。

わずかな部分であっても、錆び・腐食を放置したまま使用を続けると腐食摩耗が進行し、真空ポンプ機内のクリアランスが保たられず、性能に大きく影響し、使用不可能となる。今後は実用化に向けて、ダイヤモンド膜の成膜レシピの改善や放電出力の調整、下地の特殊ニッケルAとダイヤモンド膜の間にもう一層中間層を追加するなどの検討を行い、更にダイヤモンドの密着力が向上するよう研究を進めていく予定である。

2-3「空気流動真空蒸発法」による溶剤リサイクル装置の実用化

(1) 廃溶剤リサイクル装置の構成

従来の VOC 分離回収装置は引火性のある溶剤に対応できない、高真空が必要(装置の大型化・高価格化)等の課題があったのに対し、本研究では、溶剤噴霧タンク・高耐食性ドライ真空ポンプ・冷却凝縮装置をユニット化し、「空気流動真空蒸発法」により低真空領域で効率的に分離・回収することで、装置の軽量化・低コスト化が可能になった。「空気流動真空蒸発法」による廃溶剤からの VOC の蒸発分離装置と冷却凝縮による VOC 回収装置の概略図を図 2-3-1 に、試作した溶剤リサイクル装置ユニットの写真を図 2-3-2 に、溶剤噴霧タンクの設計図面を図 2-3-3 に示す。

溶剤からの VOC の蒸発は、蒸発温度が室温より高い方が有利である。トリクロロエチレン(TCE)を例にすると室温 25℃では飽和蒸気圧は 9,902Pa であるが、50℃では飽和蒸気圧は 28,590Pa と 2.89 倍高くなり、溶剤から蒸発できる TCE の気相平衡濃度も 3.24 倍高くなる。そこで、図 2-3-1 に示す様に、コンプレッサーで空気を圧縮することで 150℃となった圧縮空気を利用して真空容器内下部に設置した熱交換器に導入し溶剤の加熱(50℃)を行った。加温された溶剤は真空容器内に噴霧ノズルで噴霧され、噴霧ミスト表面を蒸発面として除去液中の VOC が蒸発する。VOC が蒸発し再生したミスト状の溶剤を回収するために、真空容器内の下部にポリウレタンフォームを充填した。VOC が蒸発し再生した溶剤は、真空容器下部に接続した 2 つの貯留タンク(30L)により電磁弁の切り替えで交互に回収されるので、真空計を断ち切ることなく連続的に除去液の再生が可能である。又、真空容器の上部にも溶剤の噴霧ミストが真空ポンプに流れないようにブロックとしてポリウレタンフォームを充填した。

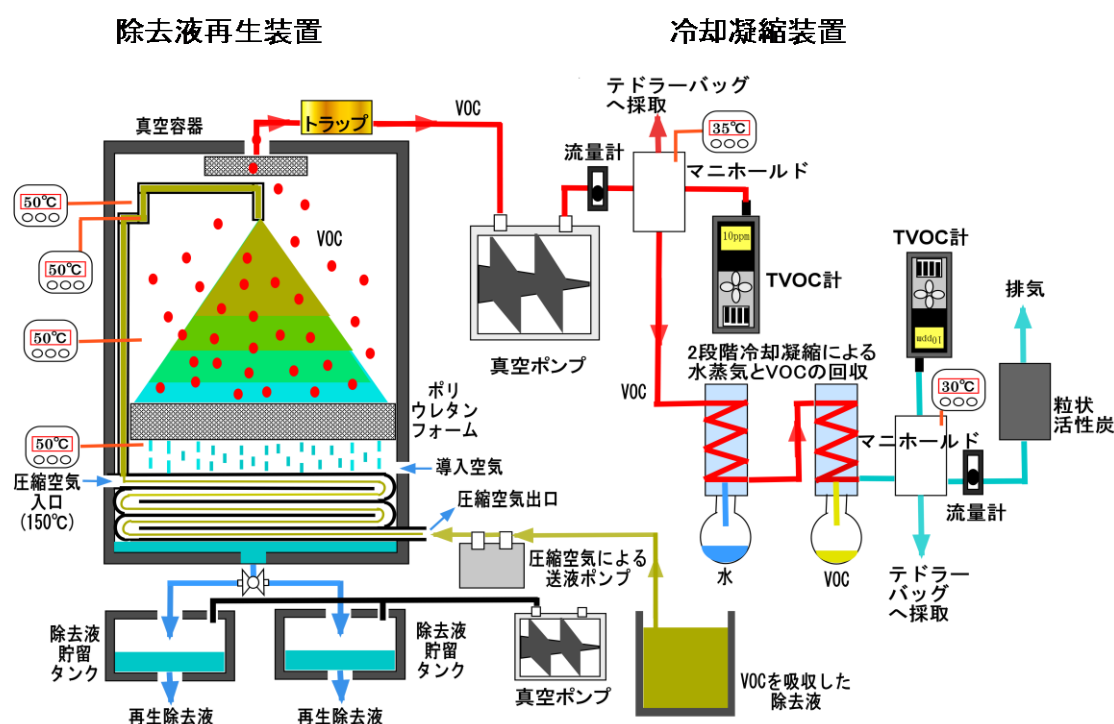


図 2-3-1 「空気流動真空蒸発法」による廃溶剤からの VOC の蒸発分離装置と冷却凝縮による VOC 回収装置の概略図



図 2-3-2 溶剤リサイクル装置ユニットの写真

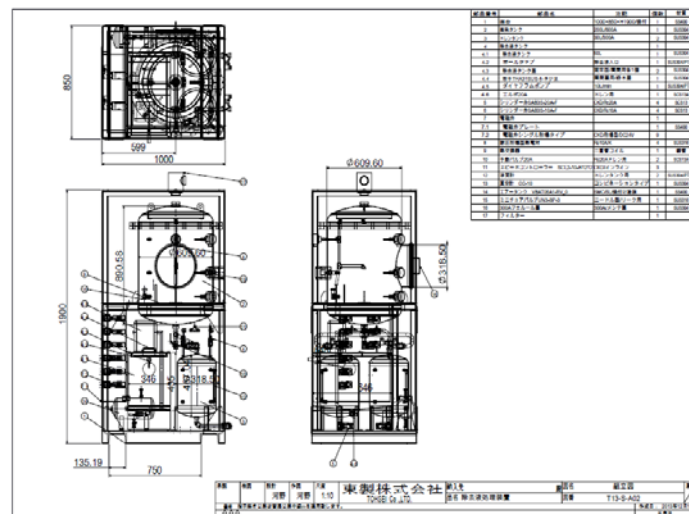


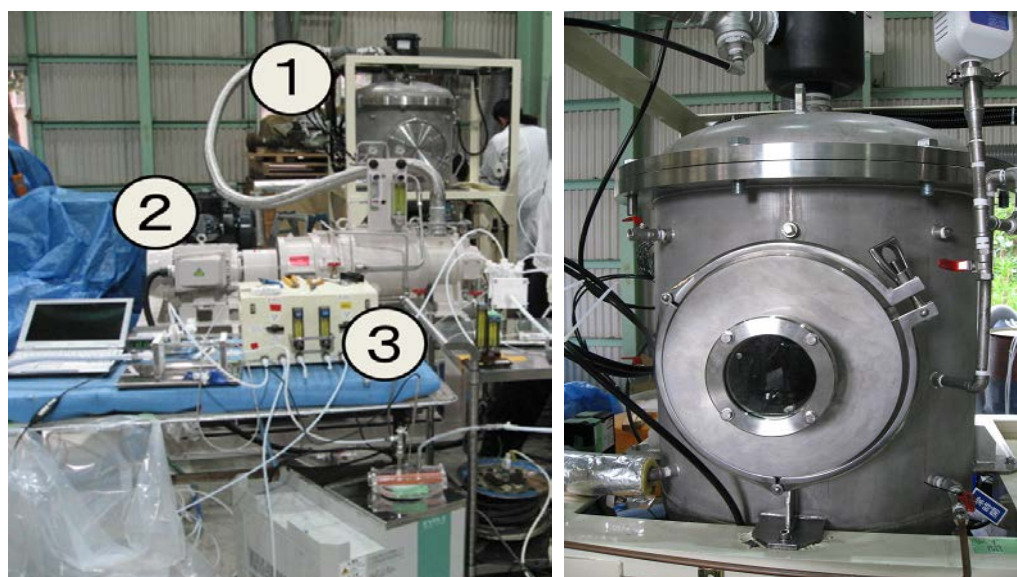
図 2-3-3 溶剤噴霧タンク設計図面

(2) 実験装置の作動確認

図 2-3-4 に、溶剤リサイクル装置の性能評価実験の実験装置を示した。真空容器をリークしないで大真空ポンプ(大晃機械工業㈱、MDP-680V)で吸引した結果、真空容器内の真空度は数十 Pa 以下となり、真空容器の漏れがないことが確認できた。真空容器をリークして、導入空気流量を 50L/min に設定した場合、真空容器内の真空度を 1,400Pa となり、真空容器への導入空気流量と圧力との比(v/P)は 3.6×10^{-2} となった(2014 年 7 月 9 日の東製での実験)。大型真空ポンプの真空度 1,000Pa における排気速度は 5,000L/min(カタログ値)であり、大気圧に換算すると 49.4L/min となる。その値から算出した導入空気流量と圧力との比(v/P)は 4.9×10^{-2} であり、ドライ真空ポンプの最大排気性能の 73.4%を得ていることが確認できた。

また、2014 年 11 月 27 日の東製での実験では、導入空気流量 37L/min で、真空容器内の真空度が 1,000Pa となり、真空容器への導入空気流量と圧力との比(v/P)は 3.7×10^{-2} となった。しかしながら、2015 年 1 月 9 日の東製での実験では、導入空気流量 43.3L/min で、真空容器内の真空度が 2,200Pa となり、真空容器への導入空気流量と圧力との比(v/P)は 2.0×10^{-2} と大きく減少し、真空ポンプ排気性能の低下が認められた。この原因としては、ダイヤモンド膜をコーティングしていないためによる大型真空ポンプ内の腐食、大型真空ポンプの排気ラインへのミストトラップ等を設置したことによる抵抗などが考えられる。

2015 年 1 月 27 日の東製での実験では、導入空気流量 46.0L/min で、真空容器内の真空度が 1,400Pa となり、真空容器への導入空気流量と圧力との比(v/P)は 3.3×10^{-2} となり、当初の真空ポンプ排気性能に改善された。溶剤は、ダイヤフラム式送液ポンプにより真空容器内の 2 つの噴霧ノズルから噴霧される。溶剤の噴霧流量は 2L/min に設定した。



①溶剤リサイクル装置(試作品)

②高性能ドライ真空ポンプ(試作品)

③排気ガスサンプリング装置

溶剤リサイクル装置

(真空容器内で溶剤噴霧)

図 2-3-4 溶剤リサイクル装置の性能評価の実験装置

平成 27 年度は、溶剤リサイクル装置の自動連続運転が可能となる装置の改造を行った。

図 2-3-5 に自動連続運転が可能な溶剤リサイクル装置の概略図を示す。ドラム缶に保管された廃溶剤は圧縮空気を用いた熱交換器で加温して真空容器内へ噴霧する。真空容器内で廃溶剤の噴霧ミストから VOCC が蒸発分離して真空ポンプにより排気される。VOCC が蒸発し精製された溶剤は 2 つのタンク(30L)に 15 分毎に交互に回収される。溶剤タンクの溶剤は圧縮空気により溶剤回収用ドラム缶に回収される。一連の操作はすべて自動連続運転される。真空ポンプから排気された VOCC は、排気ガス中の水分除去のための予冷装置(冷却設定温度 -10°C)で水分を冷却凝縮後、VOCC 冷却凝縮装置(冷却設定温度 -100°C)により冷却凝縮して回収する。

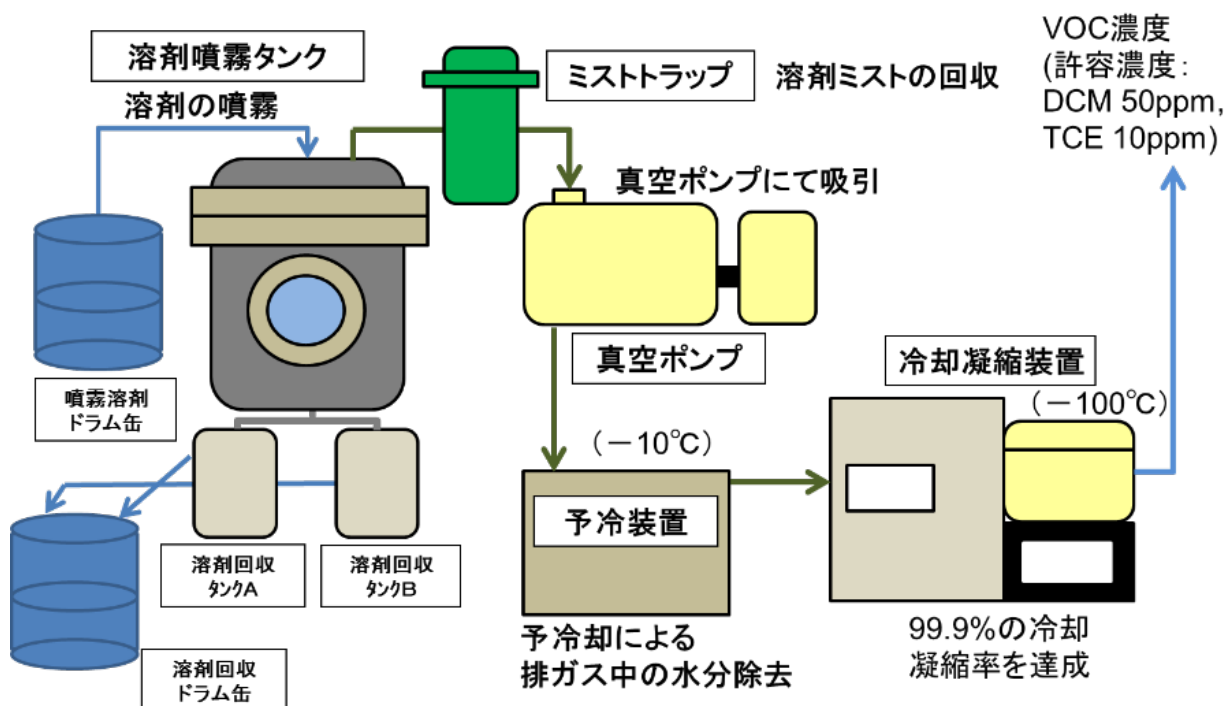


図 2-3-5 自動連続運転が可能な溶剤リサイクル装置の概略図

廃溶剤からの VOCC の蒸発分離を効率良く行うには、蒸発温度を高くすることが有利であり、廃溶剤は圧縮空気を用いた熱交換器で加温して真空容器内へ噴霧する。本溶剤リサイクル装置を使用して、溶剤(TPGME)中ジクロロメタン(DCM)の蒸発分離実験での溶剤温度、真空容器内温度(上部、中部)について測定した結果を図 2-3-6 と表 2-3-1 に示した。図 2-3-6 で明らかな様に、圧縮空気を用いた熱交換器で加温した廃溶剤を真空容器内へ噴霧すると約 10 分で、溶剤温度は 50°C 、真空容器内温度(上部、中部)は 40°C 程度でほぼ一定となった。

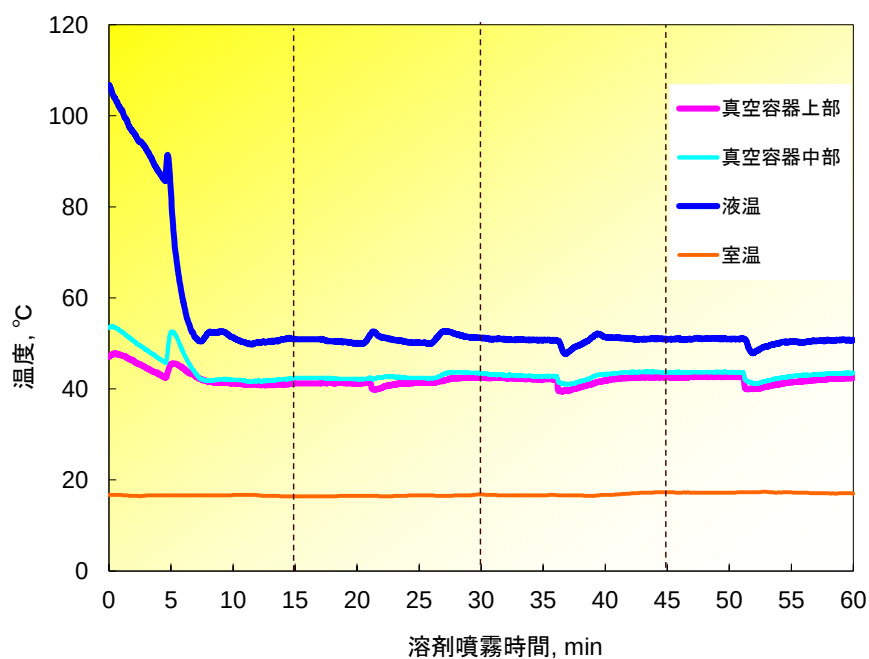


図 2-3-6 溶剤(TPGME)中 DCM の蒸発分離実験での各温度の経時変化

表 2-3-1 溶剤(TPGME)中 DCM の蒸発分離実験での各温度*

n=2880	真空容器 上部	真空容器 中部
温度, °C	41.7 ± 0.8	42.8 ± 0.7

溶剤温度 (n=2880)	室温 (n=361)	蒸発温度* (n=5760)
温度, °C	16.8 ± 0.3	42.2 ± 1.0

※蒸発温度は実験開始 10 分以降の真空容器上部と中部の平均値とした

溶剤(TEGME)に DCM 1.8g/L を含んだ試料液を真空容器に噴霧し、溶剤から蒸発しドライ真空ポンプから排気された試料ガスをテトラバックに捕集し、GC-MS QP2010 (SHIMADZU 製)によりDCM 濃度を測定した結果を図 2-3-7 に示した。真空容器内に DCM を含む溶剤 (TPGME)を噴霧すると急激に DCM 濃度が上昇し、10 分程度で DCM 濃度が 10,000ppm で安定した蒸発濃度となった。15 分毎に、再生した溶剤を回収する 2 つのタンクの切り替えを行ったが、DCM 蒸発濃度に大きな変動は認められず、安定した状態で廃溶剤 (TPGME)から DCM が蒸発分離されていることが確認できた。

次に、溶剤リサイクル装置による廃溶剤からの DCM の蒸発分離実験終了後、DCM が蒸発分離して回収した溶剤中の残留 DCM 濃度を GC-MS 分析装置で測定し、実験前後の溶剤中の DCM 濃度差からも溶剤から蒸発分離した DCM の回収率を算出した。その結果を表 2-3-2 と表 2-3-3 に示した。溶剤からの蒸発分離した DCM の回収率は、2 回の実験から、平均値で 93.2% (2015 年 11 月 26 日)と 94.7%(2015 年 11 月 27 日)となり、90%以上の高い回収率で、廃溶剤 (TPGME)から DCM が蒸発分離できることが確認できた。

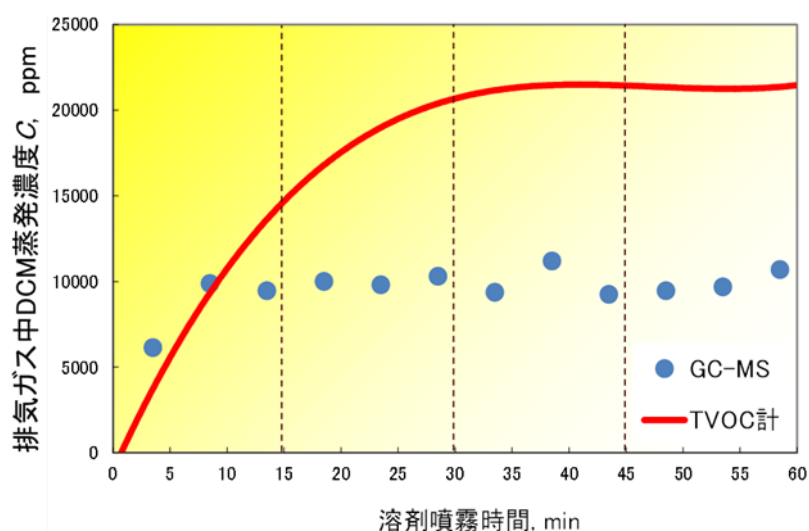


図 2-3-7 溶剤(TPGME)中 DCM の蒸発分離実験での排気ガス中 DCM 蒸発濃度の経時変化

分析装置: GC-MS QP2010(SHIMADZU 製)

溶剤噴霧流量 : 2.1L/min, 圧力: 1400Pa, 導入空気流量 : 46.0 ± 3.4 L/min(n=13)

蒸発温度: 42.2 ± 1.0 °C(n=5760) (実験開始 10 分以降の真空容器上部と中部の平均値)

表 2-3-2 溶剤(TPGME)中 DCM の蒸発分離実験での溶剤中 DCM 濃度分析による DCM 回収率
(2015 年 11 月 26 日)

	溶剤中DCM濃度 g/L		DCM 回収率 %
	再生前	再生後	
	2.38	0.15	93.6
	2.25	0.16	93.1
	2.15	0.15	92.9
Ave., g/L	2.26	0.15	93.2
S.D., g/L	0.12	0.002	0.4
R.S.D., %	5.1	1.1	0.4

分析装置: Head Space Sampler Turbo Matrix40 (Perkin Elmer 製)

GC-MS QP5050A(SHIMADZU 製)

溶剤噴霧流量 : 2.0L/min, 圧力: 1000Pa, 導入空気流量 : 26.4±4.4L/min(n=13)

蒸発温度:46.8±1.7°C(n=5760)

(実験開始 10 分以降の真空容器上部と中部の平均値)

表 2-3-3 溶剤(TPGME)中 DCM の蒸発分離実験での 溶剤中 DCM 濃度分析による DCM 回収率
(2015 年 11 月 27 日)

	溶剤中DCM濃度 g/L		DCM 回収率,%
	再生前	再生後	
	1.84	0.09	95.1
	1.80	0.10	94.7
	1.80	0.10	94.4
Ave., g/L	1.81	0.10	94.7
S.D., g/L	0.02	0.005	0.4
R.S.D., %	1.3	5.6	0.4

分析装置: Head Space Sampler Turbo Matrix40 (Perkin Elmer 製)

GC-MS QP5050A(SHIMADZU 製)

溶剤噴霧流量 : 2.1L/min, 圧力: 1400Pa, 導入空気流量 : 46.0±3.4L/min(n=13)

蒸発温度:42.2±1.0°C(n=5760)

(実験開始 10 分以降の真空容器上部と中部の平均値)

2-4 冷却凝縮装置の運転パラメーターの最適化と性能評価

平成 26 年度に排気ガス中揮発性有機塩素化合物(VOCC)のハイブリッド型冷却管を用いた冷却凝縮装置とその前段で排気ガス中水蒸気を取り除く水蒸気の冷却凝縮装置(予冷装置)を試作した。その試作装置の写真を図 2-4-1、図 2-4-2 にそれぞれ示した。平成 27 年度はその改良を行った。



図 2-4-1 排気ガス中揮発有機塩素化合物(VOCC)のハイブリッド型冷却管を用いた冷却凝縮装置



図 2-4-2 排気ガス中水蒸気の冷却凝縮装置

(1) 排気ガス中揮発性有機化塩素化合物 (VOCC) のハイブリッド型冷却管を用いた冷却凝縮装置の性能評価実験

試作した排気ガス中揮発性有機化塩素化合物 (VOCC) のハイブリッド型冷却管を用いた冷却凝縮装置とその前で排気ガス中水蒸気を取り除く水蒸気の冷却凝縮装置の性能評価実験を 2014 年 11 月と 2015 年 1 月に行った。

揮発性有機化塩素化合物の DCM と TCE を含む溶剤 (TPGDME) を真空容器内で噴霧し、蒸発した DCM と TCE は大型ドライ真空ポンプから排気される。排気された DCM と TCE は、ハイブリッド型冷却管を用いた冷却凝縮装置で回収される。ハイブリッド型冷却管を用いた VOCC 冷却凝縮装置の入口・出口でテトラバックを用いて排気ガス試料を採取し、排気ガス試料中 DCM と TCE 濃度を GC-MS 分析装置で測定した。その入口と出口での濃度差から DCM と TCE の冷却凝縮率をそれぞれ算出した。

2014 年 11 月の実験では、ハイブリッド型冷却管を用いた冷却凝縮装置の性能評価実験を 2 回行った。その性能評価の実験結果を表 2-4-1 に示す。本溶剤リサイクル装置で真空度 1,000Pa において、ドライ真空ポンプから冷却凝縮装置へ導入された排気ガス流量は 28.9L/min と 26.2L/min であった。また、その際の冷却凝縮装置内の冷却管温度(冷却凝縮温度)は、それぞれ、 -98.8°C と -100.6°C であった。表 2-4-1 に示す様に、DCM の場合、1 回目の冷却凝縮装置の入口と出口濃度は 15,816ppm と 26ppm であり、冷却凝縮率は 99.84% となった。2 回目では、冷却凝縮装置の入口と出口濃度は 25,400ppm と 25ppm であり、冷却凝縮率は 99.90% となった。いずれの場合にも、99.9% の極めて高効率で DCM を冷却凝縮でき、DCM 出口濃度を許容濃度 50ppm 以下に減少することができた。TCE の場合でも、冷却凝縮温度が TCE の凝固点 -87°C 以下であるので、1 回目の冷却凝縮装置の入口と出口濃度は 12,109ppm と 2ppm であり、冷却凝縮率は 99.98% となった。2 回目では、冷却凝縮装置の入口と出口濃度は 14,171ppm と 4ppm であり、冷却凝縮率は 99.97% となった。いずれの場合にも、ほぼ 100% の極めて高効率で TCE を冷却凝縮でき、TCE 出口濃度を許容濃度 10ppm 以下の数 ppm レベルまでに減少することができた。

表 2-4-1 東製における新冷却凝縮装置を用いた充填の有無による DCM の冷却凝縮実験結果

銅カットウール	冷却凝縮温度, $^{\circ}\text{C}$	冷却管内 DCM ガス濃度, ppm		DCM 冷却凝縮率, %	DCM 理論飽和濃度 C_{sat} , ppm	濃度比 $\frac{C_{\text{out}}}{C_{\text{sat}}}$
		入口 C_{in}	出口 C_{out}			
有 ¹⁾	-98.8 ± 1.0 (n=168)	15816 $\pm$ 885 (n=3)	26 $\pm$ 1 (n=3)	99.84	70.1	0.37
有 ²⁾	-100.6 ± 3.5 (n=132)	25400 $\pm$ 430 (n=2)	25 $\pm$ 2 (n=2)	99.90	54.3	0.46

銅カットウール	冷却凝縮温度, $^{\circ}\text{C}$	冷却管内 TCE ガス濃度, ppm		TCE 冷却凝縮率, %	TCE 理論飽和濃度 C_{sat} , ppm	濃度比 $\frac{C_{\text{out}}}{C_{\text{sat}}}$
		入口 C_{in}	出口 C_{out}			
有 ¹⁾	-98.8 ± 1.0 (n=168)	12109 $\pm$ 1019 (n=3)	2 $\pm$ 0 (n=3)	99.98	2.6	0.77
有 ²⁾	-100.6 ± 3.5 (n=132)	14171 $\pm$ 368 (n=2)	4 $\pm$ 0 (n=2)	99.97	2.3	0.58

導入空気流量: 1) 28.9L/min (n=6), 2) 26.2L/min (n=4)

銅カットウール充填量: 13.8g

(2) 冷却凝縮装置の改造

前述の実験で、ハイブリッド型冷却管を用いた冷却凝縮装置の性能が評価できたが、

- 1) 導入する排気ガス流量を 30L/min から 50L/min へ拡大すること。
- 2) 排気ガス中水蒸気をできるだけ VOCC 冷却凝縮装置の前段階で冷却凝縮して回収し、VOCC 冷却凝縮装置の氷結による閉塞を防ぎ、VOCC 冷却凝縮装置の連続使用時間を延ばすこと。

について検討するために、水蒸気と VOCC との冷却凝縮装置の冷却能力を更に高めて、2015 年1月に、再度、性能評価実験を行った。

図 2-4-3 に、冷却凝縮装置へ導入する排気ガス流量 43.3L/min 場合の冷却凝縮装置の冷却管内温度の経時変化を示した。排気ガス導入直後、冷却管内温度は -120°C であったが、次第に温度が上昇し、30 分程度で -110°C で安定した。排気ガス流量を 50L/min へ拡大しても十分な冷却能力を有していることが確認できたが、DCM 凝固点が -97°C であり、この冷却温度では、排気ガス DCM は冷却管内で凝結してしまい管路の閉塞が起こる。VOCC 冷却凝縮装置の長時間連続使用の妨げとなるので、排気ガス流量で 50L/min で、冷却管内温度が -100°C 程度に冷却装置の調整が必要である。

表 2-4-2 に、1 月のハイブリッド型冷却管を用いた冷却凝縮装置の性能評価実験での排気ガス中 DCM と TCE の冷却凝縮効率の実験結果を示した。DCM の場合、冷却凝縮装置の入口と出口濃度は 15,110ppm と 3.5ppm であり、冷却凝縮率は 99.98%となった。また、TCE の場合、冷却凝縮装置の入口と出口濃度は 4,572ppm と 0.02ppm であり、冷却凝縮率はほぼ 100%となった。1 月の実験では、冷却温度が -120°C ～ -110°C と 11 月の実験の冷却温度と比較して、 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 低く DCM 凝固点 -97°C 以下の極め低温であった。従って、この冷却温度では排気ガス中 DCM、TCE は冷却管内壁面で凝結してしまう。その結果として、冷却凝縮装置の出口での DCM と TCE 濃度は、それぞれ、3.5ppm と 0.02ppm 極めて低い値となったが、冷却凝縮して回収することにはならなかった。

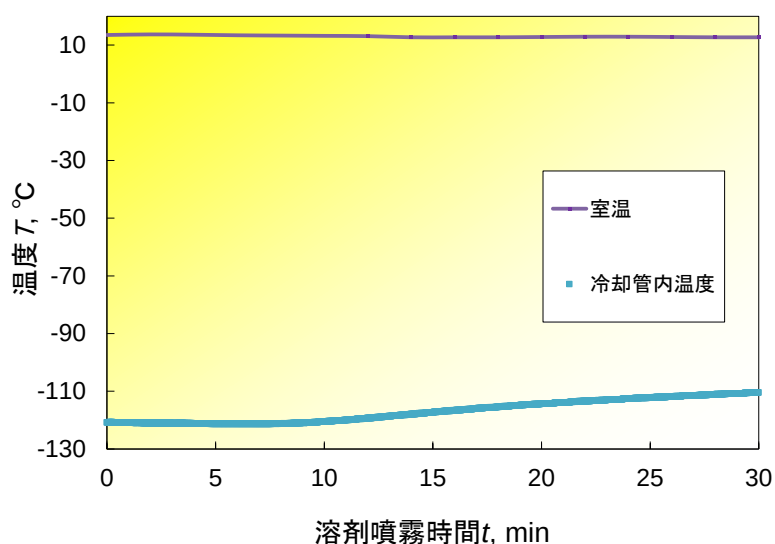


図 2-4-3 排気ガス中 DCM、TCE の冷却凝縮実験における冷却管内温度の経時変化
排気ガス: 43.3L/min

表 2-4-2 ハイブリッド型冷却管を用いた冷却凝縮装置による DCM、TCE の冷却凝縮率の実験結果

サンプ リング 時間(min)	冷却 凝縮温度 T, °C	冷却管内 DCMガス濃度, ppm		DCM 冷却凝縮率, %	冷却管 出口 DCMガス 理論飽和 濃度	濃度比 $\frac{C_{out}}{C_{sat}}$
		入口(C _{in})	出口(C _{out})		C _{sat} , ppm	
5-8	-121.3	14120	3.3	99.98	2.2	1.5
9-12	-120.2	13123	2.4	99.98	2.7	0.9
12-15	-118.3	17225	2.4	99.99	3.7	0.7
16-19	-115.7	15182	2.6	99.98	5.7	0.5
20-23	-113.7	13302	2.7	99.98	7.9	0.3
24-27	-112.0	17537	3.4	99.98	10.2	0.3
27-30	-110.9	15283	5.4	99.96	12.1	0.4
Ave.*	-116.6	15110	3.5	99.98	5.8	0.9
S.D.*	3.9	1630	1.2		3.6	0.7
R.S.D., %	3	10.8	34		61.6	77

サンプ リング 時間(min)	冷却 凝縮温度 T, °C	冷却管内 TCEガス濃度, ppm		TCE 冷却凝縮率, %	冷却管 出口 TCEガス 理論飽和 濃度	濃度比 $\frac{C_{out}}{C_{sat}}$
		入口(C _{in})	出口(C _{out})		C _{sat} , ppm	
5-8	-121.3	4597	0.02	100.00	0.04	0.5
9-12	-120.2	4457	0.01	100.00	0.04	0.4
12-15	-118.3	7162	0.02	100.00	0.05	0.3
16-19	-115.7	6586	0.03	100.00	0.07	0.5
20-23	-113.7	6075	0.02	100.00	0.12	0.2
24-27	-112.0	8497	0.02	100.00	0.17	0.1
27-30	-110.9	7556	0.05	100.00	0.23	0.2
Ave.*	-116.6	4572	0.02	100.00	0.12	0.4
S.D.*	3.9	70	0.01		0.09	0.3
R.S.D., %	3	1.5	49		71	78

測定装置:GC-MS QP2010(SHIMADZU 製)

通気流量:43.3L/min,

(3) 冷却凝縮装置による排気ガス中 DMC の冷却凝縮の実験結果

真空ポンプから排気されるガス中の水分を冷却凝縮して除去する予冷装置による排気ガス中水蒸気の除去効率を表 2-4-3 に示した。予冷装置の冷却温度は -10°C に設定した。

予冷装置の入口と出口で排気ガスの温度・湿度を測定し、入口と出口での排気ガス中水分濃度を算出した。また、予冷装置の入口と出口の水分濃度を基にして算出した予冷装置による水蒸気の除去率も合わせて示した。5月14日での実験では、予冷装置の入口と出口での排気ガス中水分濃度は、 $14.0\text{g}/\text{m}^3$ と $2.7\text{g}/\text{m}^3$ であった。その結果を基にして算出した予冷装置による水蒸気の除去率は 80.7%となった。夏季の排気ガス中水分濃度が高い場合でも予冷装置の出口での排気ガス中水分濃度は $3.0\text{g}/\text{m}^3$ 以下となり、予冷装置により排気ガス中水蒸気量を 1/5 以下に減少できることが確認できた。その結果から、排気ガス中 VOCC の冷却凝縮装置の冷却管内での水の氷結による閉鎖を防ぎ、溶剤リサイクル装置の自動連続運転の時間を大幅に長くすることが可能となった。

表 2-4-3 予冷装置による排気ガス中水分の除去効率

実験日 2015年	導入空気 流量 L/min	予冷装置 温度, $^{\circ}\text{C}$	水蒸気冷却 凝縮装置入口			水蒸気冷却 凝縮装置出口			水蒸気 の冷却 凝縮率 %
			温度 $^{\circ}\text{C}$	湿度 %	水分 濃度 g/m^3	温度 $^{\circ}\text{C}$	湿度 %	水分 濃度 g/m^3	
5/14	48	-1.9	25.6 ± 0.1 (n=91)	58.6 ± 1.3 (n=91)	14.0	21.0 ± 1.1 (n=91)	14.5 ± 0.7 (n=91)	2.7	80.7
7/16①	30	3.5	31.1 ± 0.8 (n=91)	79.2 ± 1.7 (n=91)	25.5	17.7 ± 0.5 (n=91)	19.9 ± 3.1 (n=91)	3.0	88.2
7/16②	29	2.1	29.8 ± 1.5 (n=85)	79.4 ± 0.7 (n=85)	24.0	17.2 ± 1.2 (n=85)	18.5 ± 2.5 (n=85)	2.7	88.0
11/26	26	2.1	17.2 ± 1.2 (n=361)	79.1 ± 4.6 (n=361)	11.6	11.1 ± 0.7 (n=61)	29.5 ± 4.2 (n=61)	3.0	74.1

平成 26 年度の実験(2015 年 1 月)では、VOCC 冷却凝縮装置の冷却温度が $-120\sim -110^{\circ}\text{C}$ となり、設定した冷却温度 -100°C より $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 低く、DCM の凝固点 -97°C 以下の極め低温となった。従って、この冷却温度では排気ガス中 DCM と TCE は冷却管内壁面で凝結してしまい、冷却凝縮して回収することができない。そこで、冷却温度 -100°C に設定できるように冷媒をエタノールに交換した。また、長時間の連続運転で冷却管での氷結による閉塞をできるだけ防ぐために冷却管の内径を $9\text{mm}\phi$ から $14\text{mm}\phi$ に拡大した。

ハイブリッド型冷却管を用いた VOCC 冷却凝縮装置の入口・出口でテドラーバックを用いて排気ガス試料を採取し、排気ガス試料中 DCM 濃度を GC-MS 分析装置で測定した。その入口と出口での濃度差から DCM 冷却凝縮率を算出した。VOCC 冷却凝縮装置による DCM 冷却凝縮の実験結果を表 2-4-4 に示した。本溶剤リサイクル装置で真空度 $1,400\text{Pa}$ において、ドライ真空ポンプから冷却凝縮装置へ導入された排気ガス流量は $46.0\text{L}/\text{min}$ であった。また、その際の冷却凝縮装置内の冷却管温度(冷却凝縮温度)は、1 時間の平均値で -96.5°C であった。表 2-4-4 に示す様に、冷却凝縮装置の入口と出口の DCM 濃度は、平均値でそれぞれ、 $9,920\text{ppm}$ と 11ppm となり、DCM の冷却凝縮率は 99.9%となった。従って、改造した VOCC 冷却凝縮装置により、99.9%の極めて高効率で DCM を冷却凝縮でき、更に、DCM 出口濃度を許容濃度 50ppm 以下に減少することもできた。

表 2-4-4 冷却凝縮装置の入口、出口の DCM 濃度、冷却凝縮率、DCM 理論飽和濃度

サンプリング 時間(min)	冷却 凝縮温度 $T, ^\circ\text{C}$	冷却管入口 DCM濃度 C_{in}, ppm	冷却管出口 DCM濃度 C_{out}, ppm	DCM 冷却凝縮率 %	冷却管出口 DCM理論 飽和濃度 C_{sat}, ppm	$\frac{C_{out}}{C_{sat}}$
2-5	-97.8	6140	8	99.9	77	0.1
7-10	-97.7	9880	4	99.96	78	0.05
12-15	-97.6	9460	3	99.97	79	0.04
17-20	-97.4	10000	3	99.97	81	0.04
22-25	-97.1	9800	3	99.97	84	0.03
27-30	-96.8	10300	2	99.98	88	0.03
32-35	-96.5	9370	2	99.98	91	0.02
37-40	-96.0	11200	5	99.96	97	0.05
42-45	-95.7	9250	14	99.8	101	0.1
47-50	-95.4	9460	22	99.8	105	0.2
52-55	-95.1	9690	32	99.7	109	0.3
57-60	-95.0	10700	37	99.7	110	0.3
Ave.*	-96.5	9920	11	99.9	91.6	0.1
S.D.*	1.0	603	12	0.12	11.7	0.1
R.S.D.,%	1.0	6.1	106	0.12	12.8	95

分析装置:GC-MS QP2010(SHIMADZU 製), VOC121H(OSP 社製), 通気流量: $46.0 \pm 3.4 \text{ L/min}$ (n=13)

第3章 全体総括

3-1 研究成果

VOC 及び溶剤に対するドライ真空ポンプの高耐食化技術においては、下地処理の特殊ニッケルめっきとダイヤモンド膜コーティングの組み合わせ技術を確立することができた。ダイヤモンド膜コーティングにおいても標準的なプラズマ CVD 法ではなく、プラズマイオン注入・成膜法を用いることで、大型かつ複雑形状部を有する部品へのコーティングを可能にした。また、プラズマイオン注入・成膜法の特徴を活かし、コーティングの処理工程を削減し、コストダウンに努めた。

VOC に対し耐食性のあるダイヤモンド膜と特殊ニッケル下地を接ガス部品にコーティングした高耐食性ドライ真空ポンプを製作し、平成 27 年度下期には、川下企業の生産ラインにて性能評価試験を実施した。試験終了後、真空ポンプを分解し、接ガス部品を確認したところ、部品の腐食やダイヤモンド膜の剥離はほとんど見られず、高い耐食性が確認できた。

溶剤リサイクル装置の開発においては、従来の VOC 分離回収装置では高真空度が必要(装置の大型化・高価格化の原因)だったのに対し、本研究では、溶剤噴霧タンク・高耐食性ドライ真空ポンプ・冷却凝縮をユニット化し低真空領域で効率的に分離・回収することで、装置の軽量化・低コスト化を可能にした。

製作した溶剤リサイクル装置は随時改造を行い、連続自動運転を可能とした。最終的な実験結果としては、溶剤(TPGME)から DCM をリアルタイムで 93%以上の高い回収率で蒸発分離できることが確認できた。また、TCE については、蒸発温度 42℃では、蒸発分離による回収率は 65%程度であったが、TCE の沸点が 87℃であり、蒸発温度を 50℃以上(60℃程度)に高く設定すれば、DCM 同様、90%以上の高い回収率で蒸発分離ができる。また冷却凝縮装置の結果に於いても、冷却凝縮装置内の冷却管温度(冷却凝縮温度)は-96.5℃となり、ほぼ想定した冷却凝縮温度にすることができた。排気ガス中 DCM の場合、冷却凝縮装置の入口と出口濃度は 9,920ppm と 11ppm であり、冷却凝縮率は 99.8%と極めて高効率で DCM を冷却凝縮でき、DCM 出口濃度は許容濃度 50ppm 以下に減少することができた。

3-2 事業化計画

高耐食性ドライ真空ポンプの耐食性を含む耐久性・信頼性の確認のため、今後半年、1 年間の長期運転試験を実施し、多くのデータを蓄積し実用化に向けて準備を進める。本研究開発の成果である高耐食性ドライ真空ポンプの製品化を実現できれば、これまで、導入コスト高やランニングコスト増で採用を見送っていた川下ユーザー(中小規模事業者)にも広く採用される。事業終了数年後には、高耐食性ドライ真空ポンプとして数十台の販売が見込まれ、大幅な売上拡大が期待できる。また、需要が広がるにつれてダイヤモンド膜のコーティング装置や試験設備等の増設や数名程度の雇用人数を増やし需要への対応を図る。

溶剤リサイクル装置においても国内市場に加えてアジアを中心とする海外市場でも、生産のシフトが進むことから廃溶剤のリサイクルビジネスは活発になると思われるが、すでに確立されている販路と国内実績を基にした販売戦略で 4 年目以降の台数を拡大させられる。また溶剤リサイクル装置は VOC のみではなく、溶剤からの水分除去を目的とした装置の潜在的需要も大きく、幅広い分野での販売計画を立てる。