

TODAY

## 高専教育に思う



国立高専機構  
佐世保工業高等専門学校 校長  
九州大学名誉教授  
東田 賢二

今年3月まで九州大学で材料工学に関する教育・研究に携わって来ましたが、4月より佐世保工業高等専門学校に移り、これまでとは異なる環境と役割の中で仕事を始めました。そこで高専の幾分かの紹介も兼ねて、大学から移ってきた者として、少し感じることを述べさせて頂ければと思います。着任後日も浅く、その記述に不備が多々あるかと思いますが、どうかご容赦下さい。

国立高等専門学校は昭和37年に第一期校として工業系12校が設置され、その後いくつかの変遷を経て現在全国に51校が活動しています。それらは、平成16年に国立高等専門学校機構として、ひとつの独立行政法人に纏められました。本科の入学定員は51高専合計で約9,400人、在校生数は後述の専攻科も合わせて5万人を越える規模となります。さらに公立、私立の高専もそれぞれ3校有り、それらを加えると全国に57校の高専が設置されています。

さて、これまで高専教育に直接に携わる経験のなかった者にとって、中学を卒業してすぐの十五歳から成人に至る二十歳までの五年間（商船学科は五年半）にわたる一貫教育を基本とした教育システムは、世界でも稀で極めてユニークな高等教育機関に思われます。我が国の高度成長を支える実践的技術者の養成を目的としてスタートした高専も発足から半世紀以上を経て、その卒業生の進路の多様化からも理解されるように、大きく変化しているように思われます。図1は高校・大学と合わせてその進路を示したものです<sup>(1)</sup>。高専には、本科の5年生を終わって、さらに2年の専攻科が設けられており、これにより学士の学位を得ることが出来ます。全国平均で、高専の本科を終わった学生の約4割が、専攻科、もしくは大学3年に編入しています。また専攻科修了後、大学院に進学する者も多くなります。またその卒業生に対する産業界からの評価は非常に良いものです。例えば、本年4月に経団連が発表した「今後の教育改革に関する基本的考え方」と題する提言<sup>(2)</sup>のなかで高専教育が触れられており、そこで「高専卒業生は、中学卒業段階で理工系を選択する志や熱意も含め、ものづくりや品質管理、品質保証の現場などで、企業から高く評価されている。政府は、いわゆる6・3・3制の教育体系とは異なる、5年一貫、多くの高専で採用している全寮制、産業界と連携して少人数で基礎から実践までの専門技術者教育を行うなど、現在の高専教育の良さを最大限活かせるような支援を行なうべきである。その一環として、地域の産業界や大学との連携促進、英語教育などグローバル教育の強化、

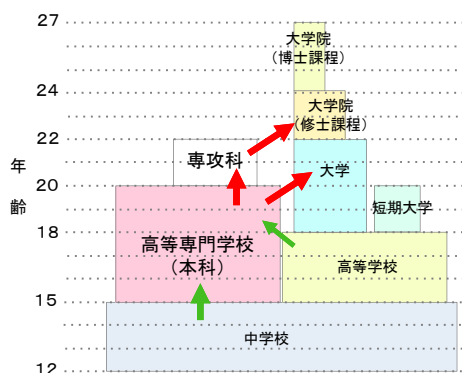


図1 高専、高校、大学等の進路の関係（国立高専機構HPより）

卒業生の多様な進路を踏まえた柔軟な教育課程とすることが求められる」と述べられています。また、企業からの高い求人倍率、多くの大学、大学院からの熱心な勧誘などにも、その評価の高さを見て取れます。

言うまでもなく時代は大きく変わり、高専の役割も上記のように大きく変化して来ましたが、高専教育には、時代が変化しても全く変わらない、と言うより寧ろ、時代が変化したからこそ、より一層その意味を増す、独自の普遍的な強みがあると考えます。一般に先鋭的科学技术を担う人材育成には、出来るだけ早い段階で、実践的な体験を通じて、自ら学ぼうとする能動的な学問的興味や目的意識を醸成することが肝要と思われる。これを高専関係者は「高専スピリッツ」或いは「高専マインド」と呼び、その後の進路に依らず、高専教育の中で学生に植え付けるべき最も大切なものと考えています。高校から大学へ進む教育システムでは、個々の学生の将来選択に対する合理的裏付けが必ずしも十分でない状況で、一種のブランド指向性の強い大学入試競争に多くの精力をつぎ込まざるを得ません。その結果、入試そのものが目的化し、合格したが故に逆に明確な目的意識を失い、入学後の勉学意欲の低下に繋がってしまっているという状況を、これまで大学関係者は少なからず見て来たのではないのでしょうか。もちろん現行の大学もこの問題を看過せず、その克服のため懸命の改革努力を行っていますが、それは高大連携の動きに見られるように、大学だけで解決できる問題ではないように思われます。そしてその解決のヒントは、実践的な理系専門教育を早い段階で開始する高専の教育システムとその理念の中にあるように思われます。そこでは、(1) 実験・実習に重点を置くことによる工学的専門性への自然な興味醸成・意識覚醒、その一方で、(2) 理数系だけでなく文系、語学教育にも配慮した一般科目の充実による視野の広さとリベラルな意識の確保、さらに(3) 全寮制を建前とした寮生活を通じた社会性と自立心の育成、(4) ほぼ全学生の部活動の経験、(5) 学級担任制度を基盤にした極めて丁寧な修学・生活指導、そして(6) それらの教育、指導が大学に比肩しうる教育研究歴を持つスタッフによって高い士気と情熱を持ってなされていること等、際立った特徴が挙げられます<sup>(3)</sup>。これらの多くは現行の高校と大学を

分離した教育システムでは、必ずしも容易でないと思われる緻密な教育システムであり、それがまさに高専教育の中で実践され、そして「産業界からの高い評価」という形で成功を収めているという事実は、高専が誇るべきことではないかと考えます。

ネットを基盤とした情報伝達の質量の拡大によるドラステックな社会変革、そして少子高齢化という不可避の時代背景、さらに厳しさを増す国家財政は、日本の教育・研究の在り方にも大きな変革を促すでしょう。高専はそのような時代に遭

遇しているからこそ、上に述べた高専教育の本質を決して見失うことなく、その教育の実質性と独自性に自信と誇りを持って、さらなる変革に挑まねばならないと思います。

- (1) 国立高等専門学校機構 HP,  
[http://www.kosen-k.go.jp/hj\\_1-12tokushoku.html](http://www.kosen-k.go.jp/hj_1-12tokushoku.html)
- (2) 日本経済団体連合会 HP,  
<http://www.keidanren.or.jp/policy/2016/030.html>
- (3) 佐世保高専 沖新通信 vol.89 (2016), p.2.

## JRCM REPORT

経済産業省 関東経済産業局 平成 25 ～ 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” 成果報告  
 産学官連携グループ 主席研究員 箕浦 忠行 主任研究員 浜田 ちひろ

### 1. はじめに

平成 25 年度に関東経済産業局から戦略的基盤技術高度化支援事業の委託テーマとして、“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”の研究開発をスタートした。その後この研究開発は、3 年間継続され、平成 28 年 3 月 31 日に完了し、高耐食性のドライ真空ポンプおよび溶剤リサイクル装置に関して実用化に向けた成果が得られたため、ここにその内容を紹介します。なお、本件は、東製株式会社、慶應義塾大学との協力で進めたものである。

### 2. これまでの研究開発の成果と課題

様々な工場から排出される廃溶剤中の揮発性有機化合物 [以下 VOC] を、従来の加熱蒸留法に代わり、空気流動真空蒸発法を用いて除去する廃溶剤のリサイクル装置を開発した。本方式により低真空領域での廃溶剤リサイクル装置の軽量・低コスト化の実現が可能となる。また、ダイヤモンド膜によるコーティングを施すことで、ドライ真空ポンプの高耐食化を実現し、装置の安定稼働と低コスト化を実現するものである。

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、洗浄用等の溶剤として再利用する事が出来る。しかしながら、廃溶剤の再生を行わず、大量の廃溶剤が産業廃棄物として破棄されているのが現状である。本研究開発では、廃溶剤を加熱蒸溜 (図 1 参照) するのではなく、真空容器に廃溶剤を導入し、溶剤から VOC を蒸発分離して回収し廃溶剤を再生する技術を実用化する。これまでの真空蒸発法 (図 2 参照) とは異なり、図 3 に示す様に蒸発する VOC の透過抵抗となるシリコン膜、テフロン膜を使用せずに、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。廃溶剤の噴霧により、廃溶剤からの VOC 蒸発面積を飛躍的に拡大できる。更に、膜分離とは異なり、数 Pa の高真空で処理するのではなく、意図的に真空をリークして数千 Pa の低真空で真空容器内に空気を流動させ、廃溶剤から大量の VOC を蒸発させ、蒸発した VOC を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発と比較して、「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、本法により大量な廃溶剤のリアルタイムでの再生処理が実現できる。また、本研究開発では従来の真空ポンプではなく、高耐食性を有した真空ポンプが必要である。

その為、ダイヤモンド膜を施したスクリュー式ドライ真空ポンプも開発している。

#### 従来技術

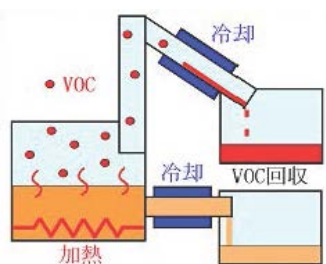


図 1 加熱蒸留法による廃溶剤からの VOC 蒸発分離

沸点の違いを利用して廃溶剤から VOC を蒸発分離する方法  
 <課題>  
 ・廃溶剤の加熱が必要  
 →エネルギーコスト大  
 ・引火溶剤には対応不可

#### 従来技術 (2)

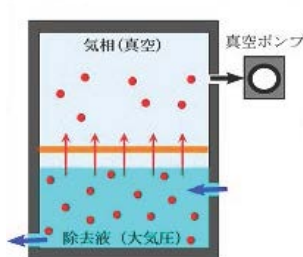
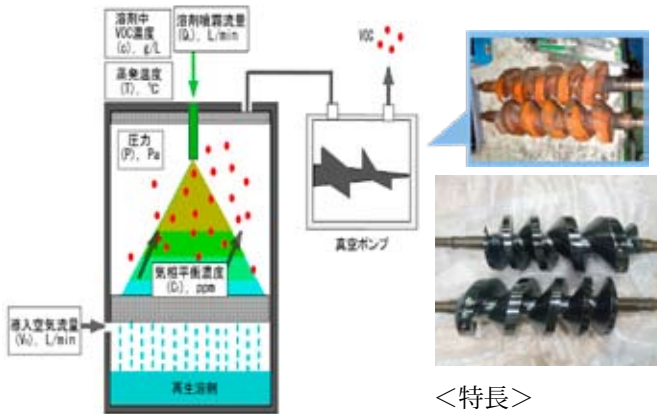


図 2 真空蒸発 (PV 法) による廃溶剤からの VOC の蒸発分離

気液の境界面に透過抵抗となるシリコン膜を使用し、高真空下で廃溶剤から VOC を蒸発分離する方法  
 <課題>  
 ・蒸発速度が遅く処理量が小さい  
 ・高真空が必要  
 →装置の大型化が必要

## 新技術

低真空領域で導入空気により効率的に廃溶剤から VOC を蒸発分離する方法。廃溶剤を微小なミストとして直接噴霧することで、蒸発面積を拡大・蒸発速度を向上。



従来のドライ真空ポンプでは短期間で腐食  
→ランニングコスト大

ダイヤモンド膜を用いた真空ポンプで  
長時間運転が可能。

図3 空気流動真空蒸発法による廃溶剤から VOC 蒸発分離

### <特長>

- ・蒸発速度の向上による処理量が多い
- ・低真空領域における装置の軽量化・低コスト化
- ・引火性溶剤にも対応可能・安全性の向上

本研究開発の主となる項目は下記の通りである。

- ①高耐食性真空ポンプの開発（複雑な構造部品へのダイヤモンド膜の成膜）
  - ②省スペース化された溶剤リサイクル装置の設計・製作
  - ③真空ポンプより排出された VOC 回収装置の設計・製作
  - ④製作した各装置の性能評価
- それぞれの研究成果は表1にまとめた。

表1 研究内容及び研究成果について

研究内容	研究成果
①高耐食性真空ポンプの開発（複雑な構造部品へのダイヤモンド膜の成膜） ※特許申請中	下地に特殊ニッケルを施し、特殊ニッケル+ダイヤモンド膜（図4参照）の構成を可能にした。プラズマイオン注入成膜法を用いる事で、大型で複雑な形状の内面へのコーティングを可能にした。完成した真空ポンプを川下企業にて試験運転を実施。良好な結果が得られた。
②省スペース化された溶剤リサイクル装置の設計・製作	1m×1mのスペースにおさまりコンパクト化。低真空領域内で処理が行える為装置の低価格化、また溶剤噴霧タンク・高耐食性ドライ真空ポンプ・予冷装置・冷却凝縮装置をユニットする事で、コンパクト化を可能にした。（図5参照）
③真空ポンプより排出された VOC 回収装置の設計・製作	冷媒を用いた冷却装置で冷却温度-100℃を達成できた。導入空気流量：46L/minで、冷却管内温度-96.5℃となり、DCM(ジクロロメタン)の凝固点-97℃とほぼ一致した。
④製作した装置の性能評価	溶剤リサイクル装置に於いては、VOC回収率90%以上を達成(表2参照)、排気側でのVOC凝縮率は99%になり管理濃度の50ppm以下となった。(表3参照)



図4 特殊ニッケル後とダイヤモンド膜成膜後の部品

上記の図の通り、耐食性に優れたダイヤモンド膜を複雑な構造部品へコーティングが出来た。(上記の図は、真空ポンプの主要部品の一つのローターである)



図5 高耐食性真空ポンプ及び溶剤リサイクル装置

表 2 溶剤中 DCM 蒸発分離実験における DCM 回収率

	溶剤中DCM濃度 g/L		DCM 回収率,%	溶剤中DCM濃度 g/L		DCM 回収率 %	
	再生前	再生後		再生前	再生後		
	1.84	0.09	95.1	2.38	0.15	93.6	
	1.80	0.10	94.7	2.25	0.16	93.1	
	1.80	0.10	94.4	2.15	0.15	92.9	
Ave., g/L	1.81	0.10	94.7	Ave., g/L	2.26	0.15	93.2
S.D., g/L	0.02	0.005	0.4	S.D., g/L	0.12	0.002	0.4
R.S.D., %	1.3	5.6	0.4	R.S.D., %	5.1	1.1	0.4

再生前後の溶剤 (TPGME) 中 DCM 濃度差から、溶剤から蒸発分離した DCM 回収率は、2 回の実験ともに 93% 以上あった。

表 3：冷却凝縮装置による排気ガス中 VOC 冷却凝縮の実験

サンプリング 時間 (min)	冷却 凝縮温度 T, °C	冷却管入口 DCM濃度 C <sub>in</sub> , ppm	冷却管出口 DCM濃度 C <sub>out</sub> , ppm	DCM 冷却凝縮率 %	冷却管出口 DCM理論 飽和濃度 C <sub>sat</sub> , ppm	C <sub>out</sub> C <sub>sat</sub>
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

VOC 冷却凝縮装置により入口での排気ガス中の 10,000ppm の DCM 濃度を出口で 11ppm まで減少でき、DCM 冷却凝縮率は 99.9% となり、管理濃度 50ppm 以下となった。

#### 4. 事業化と今後の動き

高耐食性のドライ真空ポンプの耐食性を含む耐久性に関しては今後半年、1 年間の長期運転を実施し、多くのデータを蓄積し実用化を進める。本研究開発で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に至らなかった川下ユーザーにも高耐食性ドライ真空ポンプが広く採用される。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。

溶剤リサイクル装置に於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。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、幅広い分野での実用化が図れる。

基盤技術は確立したため、耐久試験等時間をかけた信頼性が確認されれば、事業化に大きく近づく。引き続き事業化に向けた活動を進めてまいります。

The Japan Research and Development Center for Metals  
JRRCM NEWS / 第 356 号

内容に関するご意見、ご質問は JRRCM 総務企画部までお寄せください。  
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2016 年 6 月 1 日

発行人 小紫 正樹

発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター

〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目 5 番 11 号 第 11 東洋海事ビル 6 階

T E L (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285

ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>

E-mail [jrcm@oak.ocn.ne.jp](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)