

「マイクロ流体システムを応用したダイオキシン類の高速測定技術の研究開発」(事後評価)
分科会

資料 5-1

[マイクロ流体システムを応用したダイオキシン類の 高速測定技術の研究開発]

事業原簿

作成者	新エネルギー・産業技術総合開発機構 産業技術開発室
作成時期	2002年9月6日

【事業原簿 構成】

目次

0. 概要	2
1. N E D Oの関与の必要性・制度への適合性	4
1.1 N E D Oが関与することの意義	4
1.2 費用対効果	4
2. 事業の背景・目的・位置付け	5
2.1 事業の背景・目的・意義	5
2.2 事業の位置付け	6
3. 事業の目標	7
4. 事業の計画内容	8
4.1 事業全体、個別研究開発項目の計画内容	8
4.2 研究開発項目毎の内容の詳細	10
4.3 研究開発実施主体の体制	13
5. 実用化、事業化の見通し（政策目的達成時のイメージ）	15
5.1 実用化のイメージ	15
5.2 成果の実用化可能性	15
5.3 波及効果	15
6. 今後の展開（政策目的達成までのシナリオ）	16
6.1 実用化への課題	16
6.2 産業界での具体的利用	16
6.3 実用化までの実現可能性、見通し	16
7. 研究開発成果	17
7.1 事業全体の成果	17
7.2 研究開発項目毎の成果	20

0. 概要

制度名	産業技術研究開発制度	事業名	マイクロ流体システムを応用したダイオキシン類の高速測定技術の研究開発
事業の概要	<p>ダイオキシン類対策特別措置法の体系においては、事業者及び行政機関等がダイオキシン類の濃度を測定する際の方法として日本工業標準に定められたものを用いるよう規定しているが、従来の分析手法では、これに要する期間・コストの面で、的確な対応が困難となりかねない。本事業では、マイクロ流体システムを応用することにより、分析試料の前処理工程を大幅に短縮し、分析に要する期間の短縮とコストの低減を実現すると同時に、日本工業標準に適合する分析手法を確立するための要素技術を開発することを目的とする。具体的には、マイクロ流体の特性とマイクロ流体中の分子挙動を利用して、排ガス中のダイオキシン類測定の所要時間短縮に最も効果的な前処理工程の飛躍的高効率化を実現するため以下の研究開発を実施する。</p> <p>マイクロ流体システムの仕様設定 マイクロ流体デバイスの個別仕様設定 マイクロ流体デバイス プロトタイプを試作・評価</p>		
1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	<p>ゴミ焼却等が原因となるダイオキシン類の発生状況を高速且つ正確に測定するために必要な基盤的技術の開発については公益性、緊急性及びその波及効果の大きさを考えると本質的に国がその責任において実施することが適当である。</p> <p>さらに、本事業における取り組みは、要素技術、共通基盤技術の開発であり、且つ一企業が単独で取り組むには事業化に向けた資金、事業リスク面での負担が大きく、市場原理にまかせておいたままでは、国民のニーズに即した早期の研究開発への取組が困難なものである。</p>		
2. 事業の背景・目的・位置付け	<p>ゴミの焼却等により発生するダイオキシンは、国民の安全を脅かす大きな環境問題となっている。しかしながら、現在ダイオキシン類の測定には1ヶ月程度を要しており、ダイオキシンの排出に対して企業及び行政の双方が迅速な対応をとることができないのが現状である。従って、焼却炉等から排出されるダイオキシンに対して早期に適切な対処をとるために、ダイオキシンの濃度等発生状況を高速・正確に測定する手法の確立と、ダイオキシンに係るモニタリングの充実が課題となっている。</p> <p>本事業では、マイクロ流体システムを応用することにより、分析試料の前処理工程を大幅に短縮し、分析に要する期間の短縮とコストの低減を実現するとともに、日本工業標準に適合する分析手法を確立するための要素技術を開発することを目的とする。</p>		
3. 事業の目標 (全体目標)	<p>本事業では、複雑多岐な分離抽出工程からなるダイオキシン前処理工程を、分離、抽出、濃縮などの要素工程に分解整理するとともに各工程をマイクロ流体デバイスに置き換え、これらを組み合わせて JIS に準拠したダイオキシン類測定の前処理工程の効率の飛躍的な向上を図り、その結果として測定時間の大幅な短縮、コスト削減を実現するマイクロ流体システムの仕様を設定する。また、想定したマイクロ流体システムに関して、システム仕様を満足する各要素工程を規定し、その実現に不可欠な要素技術、及び各工程に対応するマイクロ流体デバイスの個別仕様を設定する。さらに、前処理システムを構成する主要デバイスについて、デバイスごとに機能検証用プロトタイプモデルを試作し要素技術の有効性を検証することによりマイクロ流体技術によるダイオキシン分析の現状技術課題を解決できることを実証する。さらに、環境ホルモンなどへの適用拡大の検討、将来のさらなる測定時間の短縮化に向けて、JIS に準拠しつつもマイクロ化の効果を生かした工程統合・短縮化の可能性検討などを行う。</p>		

4. 事業の計画内容 (単位：百万円)	H12fy	H fy	H fy	H fy	H fy	総額 (1年間)
一般会計	498					498
特別会計(電多)						
特別会計(石油)						
特別会計(エネ高)						
総予算額(計)	498					498
研究開発体制	担当部室	NEDO 産業技術開発室				
	委託先	(財) マイクロマシンセンター				
	再委託先	(株) 日立製作所、オリンパス光学工業(株) 三菱電機(株)、住友電気工業(株)、(株)デンソー				
	推進委員会	「マイクロ流体システムを応用したダイオキシン類の高速測定技術の研究開発」研究推進委員会				
5. 研究開発成果	<p>JIS に準拠したダイオキシン類測定前処理用マイクロ流体システムの仕様と、システムを構成するマイクロ流体デバイスの個別仕様を設定した。これにより、前処理用システムを構成するデバイスに求められる機能、開発を要する技術課題を抽出した。</p> <p>また、主要なマイクロ流体要素デバイスについて、プロトタイプ設計、試作、評価を実施、前処理用マイクロ流体システム構成要素としての機能の有効性について検証を行い、全ての研究項目において概ね事業目標を達成した。</p> <p>特許出願数：6 査読論文数：0、口頭発表数：6、パネル発表数：2、新聞発表数：1</p> <p>この他、MicroTAS2002、電気学会、MEMS2003 における採択論文、投稿論文等の発表予定がある。</p>					
6. 実用化、事業化の見通し	<p>本事業にて、機能検証を行った主要なマイクロ流体要素デバイスについては、概ね実用化の可能性を検証した。尚、今回設定したシステム全体仕様を満たす前処理用マイクロ流体システム実用化のためには、更なる研究開発の継続が必要である。</p> <p>実用システムの開発後には、通常の民間企業の営業活動を通じて、ダイオキシン類の排出状況を管理・測定する必要性のある企業・受託分析業者や都道府県の公設試等への普及が見込まれる。</p>					
7. 今後の展開	<p>本事業終了後、マイクロ流体技術による水質検査装置等の開発を進めている本事業の参画企業により、ダイオキシンを含む環境測定装置への成果活用を図る。</p> <p>また、ダイオキシン類測定前処理を含むマイクロ流体デバイス・システムの実用化を図る企業に対して、マイクロ抽出デバイスやマイクロバルブ等、本研究開発で得られたマイクロ流体デバイスの設計技術、加工技術等の技術供与を図る。</p> <p>こうした関連事業での取り組みにより、ダイオキシン類測定のみならず、多様な化学プロセスに対するマイクロ流体技術の適用と、産業界への普及を図る。</p>					
8. 評価履歴	基本計画の変更	変更無し				
	変更内容	-				
	評価履歴	事前評価(H12.10)を実施				
作成日	平成14年9月2日					

1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDOが関与することの意義

ゴミの焼却等により発生するダイオキシンは、国民の安全を脅かす大きな環境問題となっている。しかしながら、現在ダイオキシン類の測定には1ヶ月程度を要しており、ダイオキシンの排出に対して企業及び行政の双方がダイオキシンの発生源に対する迅速且つ適切な措置をとるための排出状況の管理が充分に行えていない。従って、焼却炉等から排出されるダイオキシンに対して、その濃度等の発生状況を高速・正確に測定する手法の確立と、ダイオキシンに係るモニタリングの充実が課題となっている。このために必要な基盤的技術の開発については公益性、緊急性及びその波及効果の大きさを考えると本質的に国がその責任において実施することが適当である。

さらに、今回の補正により研究開発するテーマは要素技術、共通基盤技術の開発であり、且つ一企業が単独で取り組むには事業化に向けた資金、事業リスク面での負担が大きく、市場原理にまかせておいたままでは、国民のニーズに即した早期の実用化への取組が困難なものである。

1.2 費用対効果

廃棄物焼却施設等から排出されるダイオキシン類による汚染が全国的に大きな問題となり、平成11年にダイオキシン類対策特別措置法が制定され、翌平成12年に施行された。同法において、大気基準適用施設や水質基準適用事業所は、年1回以上の回数で排出ガスおよび排出水のダイオキシン類による汚染状況の測定が義務づけられている。これに加えて、日常的な管理によるダイオキシン類の排出状況の監視に対する社会的需要がある。

ダイオキシン類の測定は、超微量の物質を多数の同族体・異性体に分離し同定しなければならず、極めて複雑な前処理と、高分解能の質量分析計等を利用する高度な技術が必要である。JIS K0311「排ガス中のダイオキシン類及びコプラナーPCBの測定方法」に規定される測定方法は、環境省の認定を受けた施設で約1ヶ月の所要期間と高額な測定費用を必要とすることなどから、日常的な管理における排出状況の把握には使われていないのが現状で、短時間且つ低コストで安全性の高い分析法の開発が強く望まれている。

本事業が取り組んだダイオキシン類測定前処理工程のマイクロ流体システム化は、現状約1ヶ月を要する所要時間の飛躍的短縮だけではなく、試料や抽出用有機溶媒等の使用量低減と廃液排出量の低減、又は危険を伴う前処理作業の安全性向上に多大に寄与する技術でもあり、社会への対応と国民生活の安全確保に大きく寄与するものである。

また、JIS 準拠ではないが、ダイオキシン類測定技術に係わる研究開発のトレンドとして、抗原抗体反応を利用する方法や簡易型質量分析計の高感度化が挙げられるが、これらの測定においても前処理工程は不可欠であり、その効率化、安全性向上の需要は高く、本事業での研究開発成果の適用が期待できる。

2. 事業の背景・目的・位置づけ

2.1 事業の背景・目的・意義

ダイオキシン類対策特別措置法の体系においては、事業者及び行政機関等がダイオキシン類の濃度を測定する際の方法として日本工業標準に定められたものを用いるよう規定しているが、従来の分析手法では、これに要する期間・コストの面で、的確な対応が困難である。

例えば、現在の JIS に規定されているダイオキシン類の測定法は、排ガス中に含まれる微量なダイオキシン量を測定機器で検出可能な量にまで抽出する工程（前処理工程）に多くの時間を要しているため、測定に約 1 ヶ月を要しており、ダイオキシン発生を即座に検知・計測し発生源に対して適切な処理ができない状態である。従って、国民の安全な生活を守るべく、ダイオキシンを速く正確に測定する技術の確立が緊急の課題となっている。

また、ダイオキシン類測定の前処理には、有害な有機溶媒を多量に使用すると同時に有害な廃液も多量に発生する。そのため、有機溶媒使用量を抑制できる抽出方法の開発が望まれている。

一方近年、化学システムや化学プロセスを、マイクロチップに集積化する研究が活発化しており、ミクロな流体の特性とミクロな空間における分子挙動の特性を最大限に活用すると、従来の分離、抽出、濃縮といった化学プロセスが桁違いに高速なおかつ高効率に実現されることが判ってきた。この化学システムをマイクロチップに集積化する研究では、我が国の研究グループは世界をリードしている。しかし、まだ化学研究者により基本的な方法論が提案検証された段階であり、実用に供するマイクロ流体デバイスとしての研究はこれからである。

そこで、NEDO マイクロマシンプロジェクト（H3～H12）でこれまで開発してきたマイクロマシン技術の対応要素技術をマイクロ流体システムに展開することにより、ダイオキシンの前処理工程をマイクロ流体システム化できれば、数週間から 1 ヶ月を要する既存の前処理・分析手法に基づくダイオキシン類測定の所要時間の短縮や、有害な有機溶媒の使用量の抑制、廃液量の削減などの実現が期待できる。

本事業では、マイクロ流体システムを応用することにより、日本工業標準に準拠しつつ分析試料の前処理工程を大幅に短縮し、分析に要する期間の短縮とコストの低減を実現するために必要な要素技術を開発することを目的とする。

2.2 事業の位置付け

(1) 産業技術戦略における政策的な位置付けなど

国民生活の安全性向上や、環境と調和した循環型経済社会の構築は、今日の最も重要な社会的課題であり、ダイオキシン等の有害物質による環境汚染を防止することが国民の安全性確保の観点から強く求められている。そのため、政府としても平成11年7月にダイオキシン類特別措置法を制定し、既存施設については、平成13年1月から本格的な規制が行われることとなった。

本事業で対象とする有害物質は、ゴミ焼却等によって発生する排ガス中のダイオキシン類である。ダイオキシン類対策特別措置法の体系においては、排ガス中のダイオキシン類の濃度を事業者及び行政機関等が測定する際の方法として日本工業標準に定められたものを用いるよう規定しているが、従来の分析手法では、特に前処理に要する期間・コストの面で、的確な対応が困難となりかねない。そこで、本事業での研究開発対象として、この特に所要時間を要する前処理工程を選定し、近年研究開発が活発化しつつあるマイクロ流体システム技術を、この前処理工程に適用する為の要素技術開発を目標とした。これにより、ダイオキシン類の測定所要時間が大幅に短縮されるばかりではなく、測定に要する薬品類の使用量の削減や、測定中に取り扱うダイオキシン類の量の低減、危険な廃液の排出量の削減等が実現し、測定の簡易化と安全性の向上をもたらすことになる。

したがって本事業は、直接的には環境中へのダイオキシン類の排出状況のモニタリングと発生源への迅速な処置に資するものであり、更に、非常に高精度を要する本技術の開発により他の環境汚染物質測定の簡易・迅速化をも視野とするものであり、環境調和型社会の実現に向けて大きく貢献するものである。

(2) 関連する国内外の研究開発動向との比較など

日本では最近になってダイオキシン問題が社会的に注目され、また焼却炉から発生するダイオキシンの法的規制が始まったことから、ダイオキシン類の測定技術の研究が、分析機器メーカー、分析機関、研究者の間で活発化している。

現状のダイオキシン類測定に対しては簡易分析法の研究が活発に行われており、環境省では平成12年度から3年計画でミレニアムプロジェクトを進めている。

分析機器メーカーにおける技術開発のトレンドは、低コストの四重極型質量分析装置の高感度化だが、その感度はJIS準拠のダイオキシン類測定で用いられる二重収束型質量分析装置には及ばない。また、ダイオキシン類の測定時間短縮についても研究が行われているが、JIS規定の前処理の簡略化或いは省略による短時間化を図ったものがほぼ全てであって、JIS標準工程の高速化を狙ったものではない。

また、Lab-on-a-Chipや μ TASなどの呼称で注目度が高まっている化学用マイクロデバイスやシステムに関する研究も、その主流はDNA解析やポストゲノム解析を狙ったプロテオーム解析など、生化学関係に偏重している。また、TransducersやMEMSなどのMEMS、マイクロマシン分野の国際会議における化学センサやマイクロ分光デバイスなどの研究事例に排ガス中のNOxなどの検出を目論んだ事例は存在するが、マイクロ流体デバイス・システムの想定アプリケーションを環境中の危険化学物質の測定に据えた本事業は当該技術分野においても特徴のある取り組みであると言える。

3. 事業の目標

以下に挙げる取り組みによって、社会的ニーズの高い、マイクロ流体システムの応用によるダイオキシン類の高速測定に資する前処理用システムの実現に必要な要素技術を開発し、その有効性を検証する。

本事業では、複雑多岐な分離抽出工程からなるダイオキシン前処理工程を、分離、抽出、濃縮などの要素工程に分解整理するとともに各工程をマイクロ流体デバイスに置き換え、これらを組み合わせて JIS に準拠したダイオキシン類測定の前処理工程の飛躍的な効率向上を図り、その結果として測定時間の大幅な短縮、コスト削減を実現するマイクロ流体システムの仕様を設定する。

また、想定したマイクロ流体システムに関して、システム仕様を満足する各要素工程を規定し、その実現に不可欠な要素技術、及び各工程に対応するマイクロ流体デバイスの個別仕様を設定する。

また、前処理システムを構成する主要デバイスについて、機能検証用プロトタイプモデルを試作し要素技術の有効性を検証することによりマイクロ流体技術によるダイオキシン分析の現状技術課題を解決できることを実証する。さらに、将来のさらなる測定時間の短縮化に向けて、JIS に準拠しつつもマイクロ化の効果を生かした工程統合・短縮化の可能性検討などを行う。

4. 事業の計画内容

4.1 事業全体、個別研究開発項目の計画内容

(1) ダイオキシン類測定前処理用マイクロ流体システムと構成デバイスに関する検討 マイクロ流体システムの仕様設定

日本工業規格（JIS K0311）に定められた排ガス中のダイオキシン類等の測定フローに記述される前処理工程（排ガスの採取～濃縮、精製等、分析計にかける前までの工程）について、その前処理フローに準拠し、前処理機能を維持しつつ、現行の方法に比して処理時間の大幅短縮、コスト削減等が可能なマイクロ流体システムの仕様を検討する。

同システムは、複雑多岐な捕集・抽出・精製工程からなるダイオキシン前処理工程を、分離、抽出、濃縮などの要素工程に分解整理すると共に各工程をマイクロ流体デバイスに置き換えられたものである。

ここでは、マイクロ流体デバイスをマイクロ流路でつないでシステムを構成することにより、ダイオキシン類測定の高効率化に資する前処理工程用のマイクロ流体システムを実現するためのシステム仕様検討、及びシステム化に必要な技術課題の抽出を行う。また、要素工程を連結して多機能化学プロセスとしてシステム全体を効率的に機能させることを検討する。

マイクロ流体デバイスの個別仕様設定

上記の前提にて仕様が設定されたマイクロ流体システムに関して、各要素工程において必要な機能・性能を検討し、システムの構成要素である吸収・抽出・濃縮など全てのマイクロ流体デバイスに求められる仕様を検討する。

また、その要求仕様に適うマイクロ流体デバイスの実現、及びシステム化に必要なマイクロ流体システム要素技術（マイクロ加工技術、マイクロ計測技術、等）を抽出する。

(2) マイクロ流体デバイスの試作・評価

マイクロ流体デバイスの設計、加工技術などの要素技術の研究開発、及び機能検証用モデルの試作を通じて、機能の有効性を検討することによりマイクロ流体技術によるダイオキシン類測定に課せられた技術課題解決の可能性を検証する。このために下記について、プロトタイプ的设计、試作、評価を行う。

実施項目は下記の5項目である。

マイクロ吸収・液液抽出・濃縮デバイスの研究開発

マイクロ抽出デバイスの研究開発

ダイオキシン液体捕集部冷却デバイスの研究開発

温度分布測定デバイスの研究開発

流路加工技術の研究開発

また、以上三項目の実施事項の推進にあたって、実施者間で共有すべき知見を得るために、現状調査と技術開発動向調査を実施する。内容としては、ダイオキシン類及びコプラナーPCBに関する基礎的情報や国内法規制の現状、JIS K0311 規定の測定方法、国内外の技術動向などの項目に関する調査研究である。

図1 実施計画日程

研究実施事項	平成13年										平成14年		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
(1)ダイオキシン類測定前処理用マイクロ流体システムと構成デバイスに関する検討													
(1-1)マイクロ流体システムの仕様設定	→			→	→						→		
(1-1)マイクロ流体デバイス個別仕様設定	→			→	→						→		
	システム、デバイス仕様設定(一次)				システム、デバイス仕様設定(二次) 下記デバイス・プロト開発状況等のフィードバック					システム、デバイス仕様設定(最終) 下記デバイス・プロトの評価結果等反映			
(2)マイクロ流体デバイスの試作・評価													
(2-1)マイクロ吸収・液液抽出・濃縮デバイスの研究開発	→												
(2-2)マイクロ抽出デバイスの研究開発	→												
(2-3)ダイオキシン液体捕集部冷却デバイスの研究開発	→												
(2-4)温度分布測定デバイスの研究開発	→												
(2-5)流路加工技術の研究開発	→												

4.2 研究開発項目毎の内容の詳細

(1) ダイオキシソ類測定前処理用マイクロ流体システムと構成デバイスに関する検討

「マイクロ流体システムの仕様設定」では下記の検討に取り組む。

マイクロ流体デバイスをマイクロ流路で接続して構成した、ダイオキシソ類測定前処理工程用のマイクロ流体システムについて、抽出、分離、濃縮などの要素工程における化学処理を連結した多機能化学プロセスとしてシステム全体を効率的に機能させることを化学的な視点も踏まえて検討し、システム仕様を提示する。

「マイクロ流体デバイスの個別仕様設定」では下記の検討に取り組む。

() 上記のシステム検討で想定したマイクロ流体システムに関して、各要素工程において必要な機能・性能を検討し、システムの構成要素である吸収・抽出・濃縮など全てのマイクロ流体デバイスが具備すべき要件を明らかにする共に、それらの機能仕様を提示する。

() システムの要求に適うマイクロ流体デバイスの実現に必要な要素技術（マイクロ加工技術、マイクロ計測技術等）を明らかにする。

(2) マイクロ流体デバイスの試作・評価

「マイクロ流体デバイスの試作・評価」では、ダイオキシソ類測定前処理システムを構成するマイクロ流体デバイスの設計、加工技術などの要素技術の研究開発、及び機能検証用モデルの試作を下記の5項目について実施する。

JIS規定の前処理フロー中でダイオキシソの回収効率の向上等、マイクロ流体デバイス化による効果が期待できる要素工程に着目し、マイクロ吸収デバイス、マイクロ液液抽出デバイス、マイクロ濃縮デバイス、マイクロ抽出デバイス（ソックスレー、脱水）を開発対象として選択した。

また、ダイオキシソを含む高温排ガスの冷却が不可欠であることからダイオキシソ液体捕集部冷却デバイスを選定し、マイクロ流体デバイスのモニタリングの必要性から温度分布測定デバイスを選定した。

さらに、微量流体を扱うマイクロ流体デバイスの稠密な微細構造を獲得するための要素技術として流路加工技術を選定した。

マイクロ吸収・液液抽出・濃縮デバイスの研究開発

() マイクロ吸収デバイス化技術

排ガスに含まれるダイオキシソの高効率吸収のために、微小気泡あるいは微小液膜等を形成させるためのマイクロ流体デバイスについて設計技術及び微細加工技術の研究開発を行い、機能検証のためプロトタイプモデルの試作・評価を行う。

() マイクロ液液抽出デバイス化技術

溶媒中のダイオキシンを溶媒中に取り出す液液抽出工程において、アレイ状のシースフローを形成させるためのマイクロ流体デバイスについて設計技術及び微細加工技術の研究開発を行い、機能検証のためプロトタイプモデルの試作・評価を行う。

() マイクロ濃縮デバイス化技術

溶媒中のダイオキシンの濃縮工程において、溶媒の気化を促進させるためのマイクロ流体デバイスについて設計技術及び微細加工技術の研究開発を行い、機能検証のためプロトタイプモデルの試作・評価を行う。

() 簡易評価技術

上記の各デバイスで抽出された試料中のダイオキシン類を簡易的且つ高速に評価することを目的としてダイオキシンを大気圧化学イオン化質量分析技術を応用して評価できる装置を開発する。

マイクロ抽出デバイスの研究開発

() ダイオキシン前処理工程中の個液抽出用デバイスであるソックスレー抽出装置及び脱水装置のマイクロ化の検討を行い、デバイスの実現に不可欠な要素技術の研究開発を行う。

() 上記デバイスの機能検証用プロトタイプモデルを試作し要素技術の有効性を検証することによりマイクロ流体技術によるダイオキシン分析の現状技術課題を解決できることを実証する。

ダイオキシン液体捕集部冷却デバイスの研究開発

() 高効率能動的熱輸送技術の研究

マイクロで高効率な熱輸送を実現するために、可動部がなく、小型で新規なサーマルポンプシステムの研究を行う。また、試作したサーマルポンプシステムの特性の評価を行う。

() マイクロ冷却デバイスの開発

ダイオキシン液体捕集工程において、排ガスからダイオキシンを高効率に捕集する際に高温の排ガスの冷却のために、サーマルポンプシステムを利用したマイクロ冷却デバイスの開発を行う。マイクロ冷却デバイスの設計、試作を通じ、高効率な能動的熱輸送を実現した高性能冷却技術の特性評価を行う

温度分布測定デバイスの研究開発

- () ダイオキシン類測定前処理用マイクロ流体システムにおいて必要な温度分布測定手段として、光を用いた温度測定技術を開発し、評価を行う。

- () 上記技術で温度分布を測定するために光スイッチを用いた多点測定技術を開発し、機能の有効性を評価する。

流路加工技術の研究開発

- () 流路加工の要素技術研究
 - 高精度な分析を行うマイクロ流体デバイスの実現に不可欠な高い形状精度及び表面精度を持った流路を加工する技術として、従来の加工技術での高アスペクト比の溝形状加工時の幅広がりや、溝形状の矩形からのずれ低減が可能な技術の研究開発を行う。

- () システム・デバイス化技術の検討
 - ・高精度微細加工技術を活かしたコネクタ等の可能性の検討を行う。
 - 高精度な加工技術による流路間のデッドボリュームの低減、及び嵌め合いのがたつきの防止の検討を行う。また、接合面の表面処理による漏れの無い嵌め合い形状及び接合に関する検討も行う。

 - ・流路表面でのダイオキシンの分離・濃縮の可能性検討。
 - 将来のマイクロ流路表面でのダイオキシンと溶媒との分離・濃縮を想定し、流路表面に形成したシリカ多孔質の機能性薄膜による、ダイオキシンの選択吸着の可能性について検討する。

4.3 研究開発実施主体の体制

図2に示すように、財団法人マイクロマシンセンターの研究室の下にダイオキシン類測定システム化研究プロジェクト室を組織し、ダイオキシン類測定前処理工程用のマイクロ流体システムのシステム仕様検討と、全工程に対応するマイクロ流体デバイスの個別仕様を検討した。

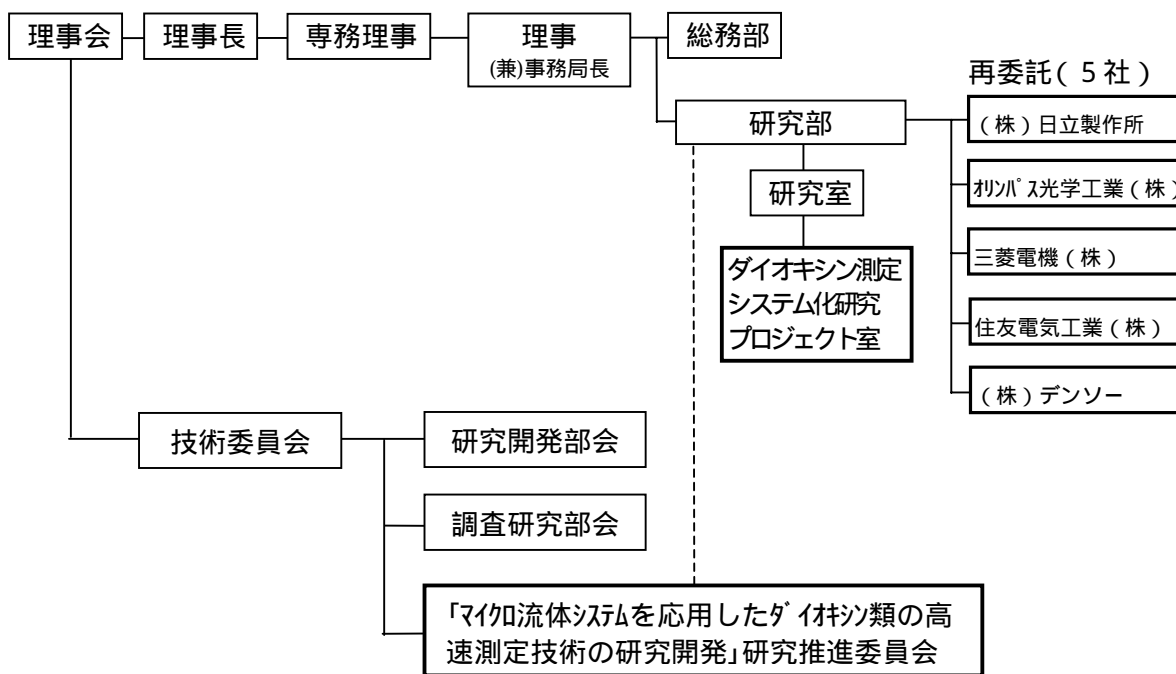


図2 研究開発体制と推進体制

研究開発の推進に当たっては、図2に示すように、財団法人マイクロマシンセンターの技術委員会の下に本研究開発事業の研究推進委員会を設置した。同委員会の委員名簿を表1に示す。

同委員会は本事業年度内に3回開催され、アドバイザリーボードの大学・産総研の研究者の協力・指導の下に、各研究項目に関する日程進捗、研究開発過程における技術的問題点の方向付け、得られた知見の交換、機能検証用プロトタイプの評価方法の検討等を実施した。

表1 研究推進委員会委員名簿

区分	氏名	所属・役職
委員長	庄子 習一	早稲田大学理工学部電子・情報通信学科 教授
委員	北森 武彦	東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻 教授
委員	藤井 輝夫	東京大学生産技術研究所海中工学研究センター 助教授
委員	前田龍太郎	産業技術総合研究所 機械システム部門 集積機械グループ グループ長
委員	田尾 博明	産業技術総合研究所 環境管理研究部門 計測技術グループ グループ長
委員	河野 顕臣	(株)日立製作所機械研究所 加工技術開発センター センター長
委員	太田 亮	オリンパス光学工業(株) 研究開発センター 先進技術研究所 基礎技術部 グループリーダー
委員	武田 宗久	先端技術総合研究所 センサ技術部 マイクロ実装グループ・グループマネージャー
委員	平田 嘉裕	住友電気工業(株)播磨研究所 主査
委員	竹内 幸裕	(株)デンソー基礎研究所 第4研究室 主任部員
オブザーバ	日野 俊喜	NEDO 産業技術開発室 主査
事務局	矢田 恒二	(財)マイクロマシンセンター研究部 部長
事務局	笹谷 卓也	同上 第1研究開発課長
事務局	福島 徳近	同上 第2研究開発課長

委員入れ替え：安藤浩 竹内幸裕 平成13年7月1日

5. 実用化、事業化の見通し（政策目的達成時のイメージ）

5.1 実用化のイメージ

前処理工程が自動化されたマイクロ流体システムに置き換えられることによって、現状約1ヶ月を要するダイオキシン類測定の所要時間が例えば1/10オーダーに短縮される可能性がある。また、測定時に取り扱うダイオキシン類を含む排ガスや抽出中の固形物や液体の量、及び測定終了後の廃液量の低減によって測定作業の安全性が向上する。

さらに、分析機器メーカー等の技術開発によって、測定側のGC-MS装置の小型化が達成されれば、ダイオキシン用測定装置の小型化や操作の簡便化によって、測定のオンサイト化や測定ポイントの増加が可能になり、ダイオキシンの発生源と排出状況のモニタリング精度が向上し、迅速且つ的確な処置を取ることが容易になる。

5.2 成果の実用化可能性

ダイオキシン類測定の前処理工程を構成する抽出、濃縮等の要素工程用試作マイクロ流体デバイスの評価において、気体から液体への物質の抽出を行うための微小気泡の連続形成、液体から液体への抽出のための微小シースフローの形成、既存スケールの装置に比した抽出効率の向上等、主要なマイクロ流体デバイス機能を検証でき、マイクロ流体技術によるダイオキシン類測定用前処理工程という化学プロセスの実用化の可能性は大いに期待が持てると考えられる。尚、今回設定したシステム全体仕様を満たす前処理用マイクロ流体システム実用化のためには、今回開発したプロトタイプのパフォーマンス向上や、排ガスからの固形成分を分離・ハンドリングする技術等の更なる研究開発の継続が必要である。

5.3 波及効果

全ての化学プロセスは、「複数の物質を混合・反応させ、必要なものを取り出す」作業であり、混合、反応、濃縮、抽出、分離などの単位化学操作の組み合わせによって構成されている。従って本事業で開発された、マイクロ吸収デバイス（気-液抽出）、マイクロ液液抽出デバイス、ソックスレー抽出用マイクロ抽出デバイスなどの試作マイクロ流体デバイスは、その用途をダイオキシン類測定の前処理に限ることなく、多様なマイクロ化学プロセスへの応用が可能であるため、これらの技術は、新規な化学装置産業や分析測定サービス創造の波及効果が期待できる。

また、ダイオキシン液体捕集部冷却デバイスの冷媒循環機構はダイヤフラムや弁などの機械的作動部を持たない高信頼度のマイクロポンプとしての応用の可能性があり、光スイッチによる温度分布測定はフローセンサなどのマイクロ流体用計測デバイスや通信用デバイスへの応用が見込まれる。

流路加工技術として取り組んだ高アスペクト比加工やコネクタを想定した高精度の嵌め合い加工は、ろ過用フィルタや精製用カラムなどの稠密な微細構造を持つマイクロ流体デバイスの加工技術としての応用が期待される。

6. 今後の展開（政策目的達成までのシナリオ）

6.1 実用化への課題

本事業では、ダイオキシン類測定の前処理工程のマイクロ流体システム化という具体的アプリケーションを想定したシステムの仕様設定とシステムを構成するマイクロ流体デバイスの個別仕様の検討、要素工程用マイクロ流体デバイスの試作を通じた要素技術の研究開発を実施した。これらの成果によって JIS 準拠のダイオキシン類測定前処理工程を構成する要素工程がマイクロ流体デバイスに置き換え可能であり、且つ抽出等の効率向上が可能であることを検証した。

本事業は単年度の取り組みでもあり、前処理に必要な全要素デバイスの試作・検証や前処理システム機能の全体検証までには及ばなかった。マイクロ流体システムとして構築されたダイオキシン類測定前処理システムの実現には、各デバイスの完成度の向上や今回試作に取り組まなかったデバイスの研究開発が必要である。また、各デバイスを接続して全体をシステムとして稼働させるために必要なポンプなどの流体制御用マイクロデバイスや温度計測以外のセンサー、デバイス間及び前処理後の計測機器とのインターフェースなど、試作システムとしての完成を見るまでには尚数年の研究開発が必要である。

6.2 産業界での具体的利用

本事業で開発した要素工程用マイクロ流体デバイスは、気 - 液、液 - 液、固 - 液の抽出や抽出液の濃縮などを行うものであるため、複雑なダイオキシン類測定前処理用システムの完成を見る以前の段階から、ダイオキシンを含む各種環境化学物質測定の前処理工程の一部に利用されたり、各種化学プロセス用の単位化学操作用デバイスとして、比較的簡便なマイクロ化学チップなどに利用される。

また、冷却用デバイスや温度分布測定デバイスについても、ダイオキシン類測定前処理だけでなく、電子機器の冷却や通信用途などへの応用が進む。

流路加工技術として取り組んだ高アスペクト比加工やコネクタを想定した高精度の嵌め合い加工は、ろ過用フィルタや精製用カラムなどの緻密な微細構造を持つマイクロ流体デバイスの加工技術としての応用や、ポリマー系或いはセラミックス系材料による微細成形用の型加工技術としての応用が進む。

6.3 実用化までの実現可能性、見通し

本事業終了後、マイクロ流体技術による水質検査装置等の開発を進めている本事業の参画企業により、ダイオキシンを含む環境測定装置への成果活用を図る。

また、ダイオキシン類測定前処理を含むマイクロ流体デバイス・システムの実用化を図る企業に対して、マイクロ抽出デバイスやマイクロバルブ等、本研究開発で得られたマイクロ流体デバイスの設計技術、加工技術等の技術供与を図る。

こうした関連事業での取り組みにより、ダイオキシン類測定のみならず、多様な化学プロセスに対するマイクロ流体技術の適用と、産業界への普及を図る。

7. 研究開発成果

7.1 事業全体の成果（表2）

(1) ダイオキシン類測定前処理用マイクロ流体システムと構成デバイスに関する検討

ダイオキシン類測定前処理用マイクロ流体システムの仕様設定

日本工業規格（JIS K0311）に定められた排ガス中のダイオキシン類の測定フローに記述される前処理工程について、その前処理フローに準拠し、且つ現行の方法に比して処理時間の大幅短縮等が可能なマイクロ流体システムの仕様を設定し、目標を達成した。

マイクロ流体デバイスの個別仕様設定

上述のマイクロ流体システムに関して、各要素工程において必要な機能・性能を検討し、システムの構成要素である吸収・抽出・濃縮など全てのマイクロ流体デバイス毎に機能仕様を設定した。また、システム中で前処理を構成する要素工程を実施可能なデバイスの成立に必要な技術課題の抽出を実施し、目標を達成した。

(2) マイクロ流体デバイスの試作・評価

設計、加工技術などの基盤的技術の研究開発、及び機能検証用モデルの試作からそれぞれの研究開発要素の機能について有効性を検討し、全ての研究項目において事業開始時に設定した個別目標を概ね達成すると共に、マイクロ流体技術によるダイオキシン類測定に課せられた技術課題解決の可能性が検証された。

以上の研究成果は、現状のJISに準拠した排ガス中のダイオキシン類の測定所要時間を大幅に短縮し、且つサンプルや試薬等の取り扱う流体の量を低減し、抽出効率の飛躍的な向上、ひいては測定コストの低減までが実現可能な前処理用マイクロ流体システムとその構成デバイスの共通基盤技術として適用が可能である。さらに、排ガス中のダイオキシン類測定以外にも、分析・合成を行う多様なマイクロ化学プロセスを実行するためのシステムとデバイスの研究開発等、今後のマイクロ流体技術の利用分野に関する共通基盤技術としての応用が可能である。

表2 事業全体の成果（要約）

事業内容	研究目標	成果	達成度
事業全体	「ダイオキシン類前処理用マイクロ流体システムと構成デバイスに関する検討（システムの仕様設定、及びマイクロ流体デバイスの個別仕様設定）」、「マイクロ流体デバイスの試作・評価」における取り組みによって、マイクロ流体システムの応用による、ダイオキシン類の高速測定に資する前処理用システムの実現に必要な要素技術を開発し、その有効性を検証する。	マイクロ流体デバイスで構成した前処理用システムの仕様と各デバイス毎に機能仕様を設定し、技術課題の抽出を実施した。 また、主要なマイクロ流体要素デバイスのプロトタイプ設計、試作、評価を実施し、前処理用マイクロ流体システム構成要素としての機能の有効性を確認した。	全ての項目で概ね達成
1. ダイオキシン類測定前処理用マイクロ流体システムと構成デバイスに関する検討	<ul style="list-style-type: none"> ・ダイオキシン類測定の高効率化に資する前処理工程用のマイクロ流体システムのシステム仕様検討を行う。 ・システムの構成要素である吸収・抽出・濃縮など全てのマイクロ流体デバイスの個別仕様を検討し、必要なマイクロ流体システム要素技術（マイクロ加工技術、マイクロ計測技術、等）を抽出する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・JISに準拠したダイオキシン類測定前処理用マイクロ流体システムの仕様と、システムを構成する全てのマイクロ流体デバイスの機能仕様を設定した。 ・前処理用システムを構成するデバイスに求められる機能、開発を要する技術課題を抽出した。 	達成
2. マイクロ流体デバイスの試作・評価	<p>下記のプロトタイプの設計、試作、評価を行い、マイクロ流体技術によるダイオキシン類測定に課せられた技術課題解決の可能性を検証する。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. マイクロ吸収・液液抽出・濃縮デバイスの研究開発 2. マイクロ抽出デバイスの研究開発 3. ダイオキシン液体捕集部冷却デバイスの研究開発 4. 温度分布測定デバイスの研究開発 5. 流路加工技術の研究開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・主要なマイクロ流体要素デバイスについて、プロトタイプ設計、試作、評価を実施し、全ての研究項目において概ね事業目標を達成した。 ・特にマイクロ吸収デバイス、マイクロ濃縮デバイスでは、大幅な効率向上の可能性を確認した。 	<p>全ての項目で概ね達成</p> <p>（自主目標についても達成項目有り）</p>

表3 研究開発項目毎の成果（要約）

研究項目	研究目標	成果	達成度
ダイオキシン類測定前処理用マイクロ流体システムと構成デバイスに関する検討 ・マイクロマシセンター	ダイオキシン類測定前処理工程用のマイクロ流体システムのシステム仕様提示。 全てのマイクロ流体デバイスの個別仕様提示。 システム要求を満たすマイクロ流体デバイスの実現に必要な要素技術の明確化。	3種類のマイクロ流体システム構成を考案し、システム仕様を設定。 各要素工程で必要な機能・性能を検討し、吸収・抽出・濃縮など全てのマイクロ流体デバイスの機能仕様を設定。デバイスの成立に必要な微細構造体加工技術や吸着ビーズのハンドリング技術等の技術課題の抽出を実施。	達成 達成 達成
マイクロ吸収・液液抽出・濃縮デバイスの研究開発 ・日立製作所	マイクロ吸収デバイス開発(微細穴構造製作技術、数10 μm 以下の気泡生成) マイクロ液液抽出デバイス開発(シースフローアレイ流路製作技術、幅10 μm 以下のシースフロー形成) マイクロ濃縮デバイス開発(微細流路構造製作技術、厚さ100 μm オーダーの液膜化) 簡易評価技術開発(大気圧化学イオン化分析技術による簡易評価技術開発)	直径40 μm の微小気泡の連続生成を確認。既存器具に対して7倍の吸収効率を確認。 数値解析を活用した試作により幅8 μm のシースフローを形成。 液膜厚さ100 μm オーダーの濃縮デバイスを開発。400 μm の流路で現行30分強3分の濃縮時間短縮が可能なことを確認。 イオントラップへの導入部の改良により、検出下限値が13倍向上。	達成 達成 達成 達成
マイクロ抽出デバイスの研究開発 ・オリンパス光学工業	ソックスレー抽出と脱水デバイスを想定した温度制御機構付・抽出・環流デバイス(サイズ数10mm \times 数10mm)の開発 抽出反応を加速する超音波攪拌機構、と流体制御用マイクロバルブの開発	試作デバイスによる抽出溶媒(純水とトルエン)の環流動作を確認することで、微小デバイスによる抽出動作が可能なことを原理的に確認。(サイズ22 \times 45 \times 0.8mmの模型デバイス) 直径1mmの振動子による音響流発生の確認と音場強度分布等の基礎データを取得。 幅200 μm \times 深さ20 μm の流路に対応する空圧駆動型マイクロバルブの動作を確認。	達成 達成
ダイオキシン液体捕集部冷却デバイスの研究開発 ・三菱電機	高温排ガス冷却のための高効率能動的熱輸送技術開発(サーマルポンプシステム) マイクロ冷却デバイス開発(冷却5以下、厚さ1mm以下)	機械的可動部の無い高効率なサーマルポンプを試作し、冷媒循環の特性評価等を実施し、要素技術を確立。 複数流路にサーマルポンプを配した冷却デバイスで、冷却温度5以下を確認。銅基板同士の封止技術を確立し、厚さ0.75mmを達成。	達成 達成
温度分布測定デバイスの研究開発 ・住友電気工業	光による温度測定技術開発(測定スポットサイズ100 μm 以下) 高速・多点測定用光スイッチ開発(幅1mm以下、スイッチング速度5ms以下)	蛍光体を利用し、スポットサイズ120 \times 150 μm (楕円)の温度測定を達成。 幅0.8mm、スイッチング速度1.3ms、且つ低電圧駆動(14V)、低反射ロスミラー(1.9dB)の性能を達成。	概ね達成 達成
流路加工技術の研究開発 ・デンソー	流路加工の要素技術開発(溝幅数 μm ~100 μm 、深さ50~150 μm の溝形で幅+0.2 μm 〔溝幅10 μm で誤差2%〕以下の精度) コネクタのデッドボリューム低減、嵌め合いがたつき防止方法の検討 シリカ多孔質薄膜によるダイオキシン吸着の可能性検討	幅10 μm 、深さ50 μm の高アスペクト比のICP流路加工において、溝幅の拡大をほぼ0にできた。 流量への影響(デッドvol.)が無く、嵌め合わせ作業が可能なクリアランス(嵌め合いガタ)5%であることを確認した。 吸着性評価実験の結果、既存吸着剤に対してダイオキシンの吸着性能が劣ることを明らかにした。	達成 確認 確認

7.2 研究開発項目毎の成果（表3）

(1) ダイオキシン類測定前処理用マイクロ流体システムと構成デバイスに関する検討

（別表1，2）

ダイオキシン類測定前処理用マイクロ流体システムの仕様設定

前処理フローを構成する要素工程を処理するマイクロ流体デバイスを接続し(図3)、各要素工程で所要のスループットを得るために単体デバイスを並列化したシステムを想定して、以下の検討を実施した(図4)。

日本工業規格(JIS K0311)に定められた排ガス中のダイオキシン類の測定フローに記述される前処理工程について、その前処理フローに基づいて、現行の方法に比して処理時間の大幅短縮等が可能な、マイクロ流体システムの仕様を設定した(図5)。さらに図5のシステムから、例えばマイクロフィルタによる気固分離と固形分のハンドリングなど、そのままではマイクロ流体デバイス化が困難な工程をデバイス機能の多機能化によって解決するシステム構成を考案した。さらにJIS規定の要素工程中でダイオキシンの回収率が高い工程に着目したシステム1種類の仕様を設定し、目標を達成した(図6)。

マイクロ流体デバイスの個別仕様設定(別表1，2)

各要素工程に必要な機能・性能を検討し、システムの構成要素である吸収・抽出・濃縮など全てのマイクロ流体デバイスの機能仕様を設定した。この中で、マイクロ吸収デバイス、マイクロ液液抽出デバイス、マイクロ濃縮デバイス等では、それぞれのデバイスが実行する化学処理の効率化について、現状工程との比較からマイクロ化にあたっての数値目標を導き、試作デバイスの設計仕様に反映を図った。

さらに、システムのモニタリングに必要な計測デバイスやシステム中の流体の操作に必要なマイクロポンプ、マイクロバルブ、マイクロコネクタに対する仕様と技術的課題を抽出し、マイクロ流体システム・デバイスに関する標準化についても検討を行った。また、それぞれのデバイスの成立に必要な技術課題の抽出を実施し、目標を達成した。

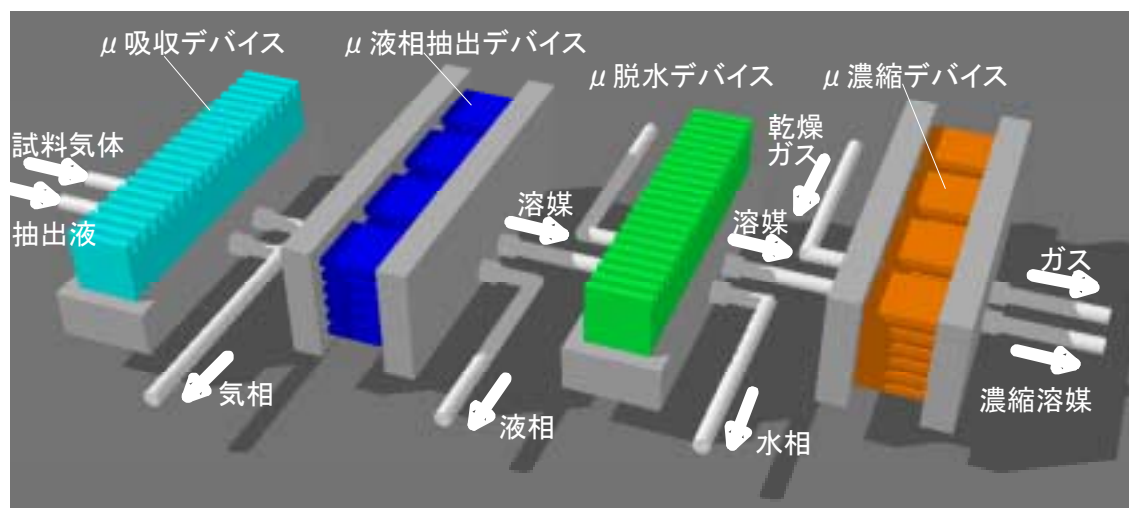


図3 複数のマイクロ流体デバイスを接続した化学用マイクロ流体システムのイメージ

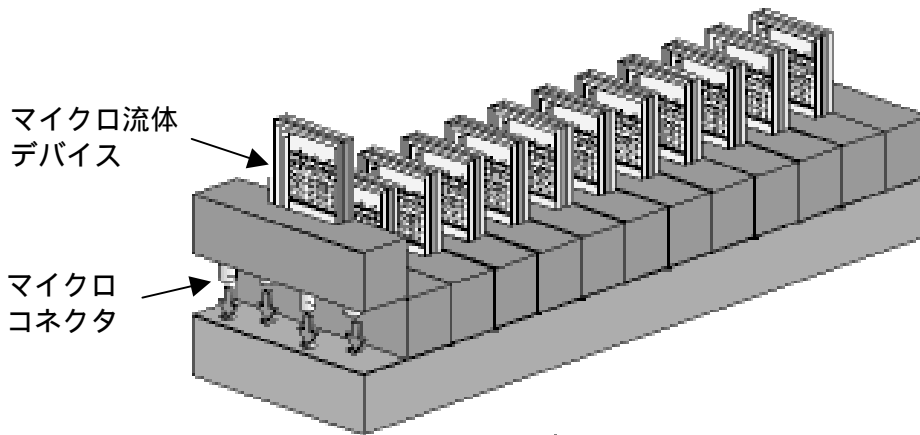


図4 高スループット化のために並列化したマイクロ流体デバイスのイメージ

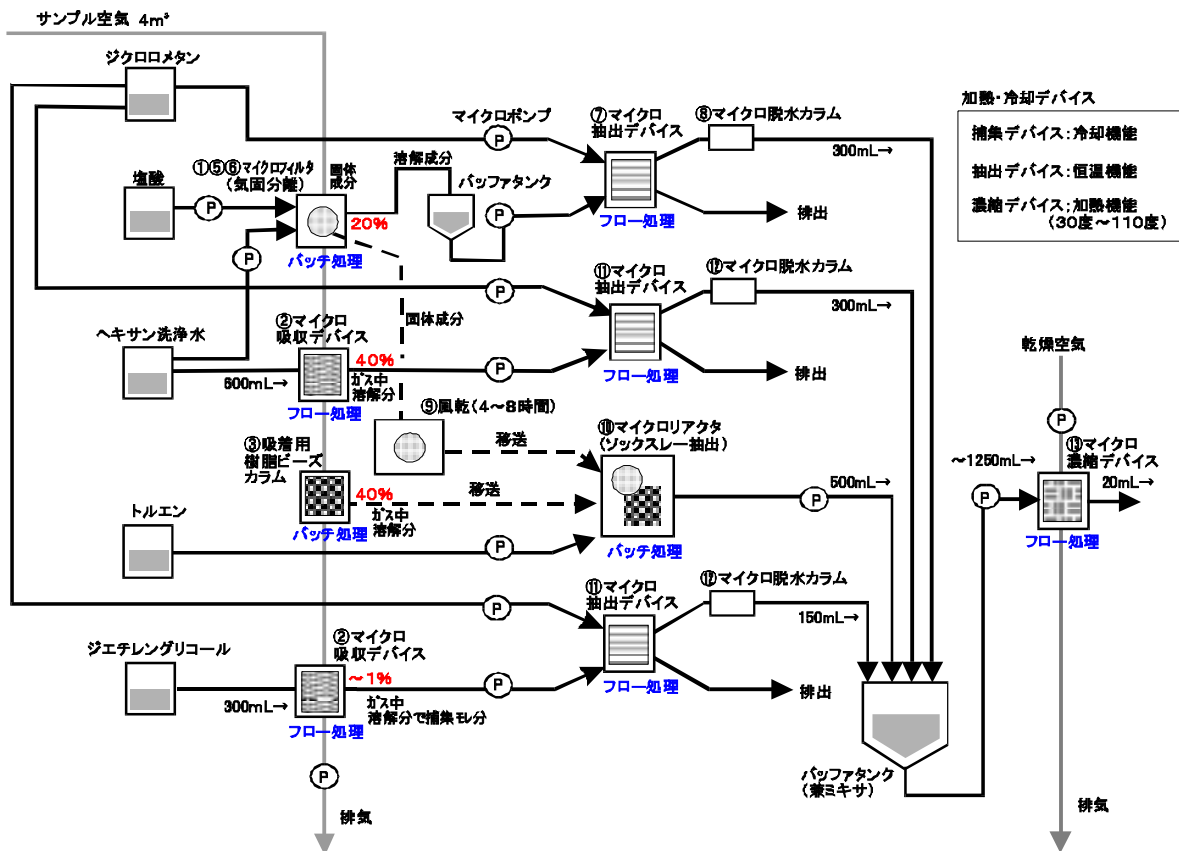


図5 マイクロ流体システム化した前処理工程例
(固形物等の非流体的処理部分も含めた JIS 工程を全て網羅したシステム)

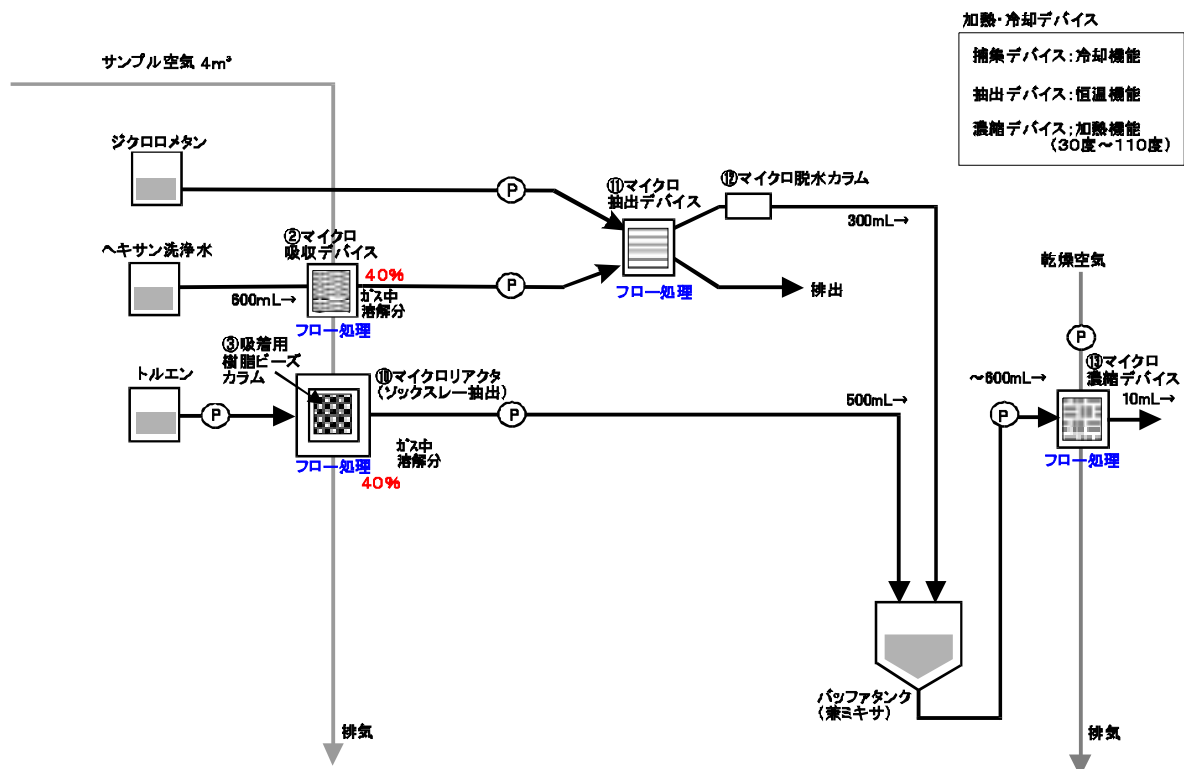


図6 JIS工程の内最も回収率の高い工程のみを抜き出した自動化システム

(2) マイクロ吸収・液液抽出・濃縮デバイスの研究開発

マイクロ吸収デバイス化技術(別表3, 4)

マイクロ吸収デバイスが取り扱う液体捕集工程では、図7の“液体捕集部I”に示すように既存サイズの機器を使用する場合、80 程度の排ガスをインピンジャー内のヘキサン洗浄水(5 ~6)に小さな気泡(~1.5mm)にして通すことで冷却しつつ、その中に含まれるダイオキシン類を捕集する(図8)。

この工程の時間短縮を図るべく実施したマイクロデバイス化技術の適用効果は;

第一に排ガスとヘキサン洗浄水がダイオキシン類をやり取りする界面の面積増大による反応時間の短縮である。これは、体積が代表寸法の3 乗に比例するのに対して、気液界面の面積が2 乗に比例するためである。

第二の効果は、ダイオキシン類がヘキサン洗浄水との界面に辿り着くまでの時間短縮である。一般に、微粒子の拡散時間は代表寸法の2 乗に比例するため、界面までの距離が1/10 になれば、界面に辿り着くまでに掛る時間は1/100になる。

そこで、デバイスに導入される排ガスの気泡サイズが数十μm 以下になるように設計すれば、現状の液体捕集部(図8)での排ガスの気泡サイズであるミリオーダーに対して二桁小さな代表寸法となり、その処理速度の大幅な改善が期待できる。

今回のマイクロ吸収デバイスでは気液混合時の気泡の微小化に取り組み、直径数十 μm 以下の気泡の生成を目標とした。試作したマイクロ吸収デバイスでは、T字型流路で気液を混合することで直径 $40\ \mu\text{m}$ の気泡を連続生成できることを確認しており、目標を達成した。さらに、気液の吸収効率についても検証実験を行ない、吸収効率が約7倍となっていることを確認した(図9)。

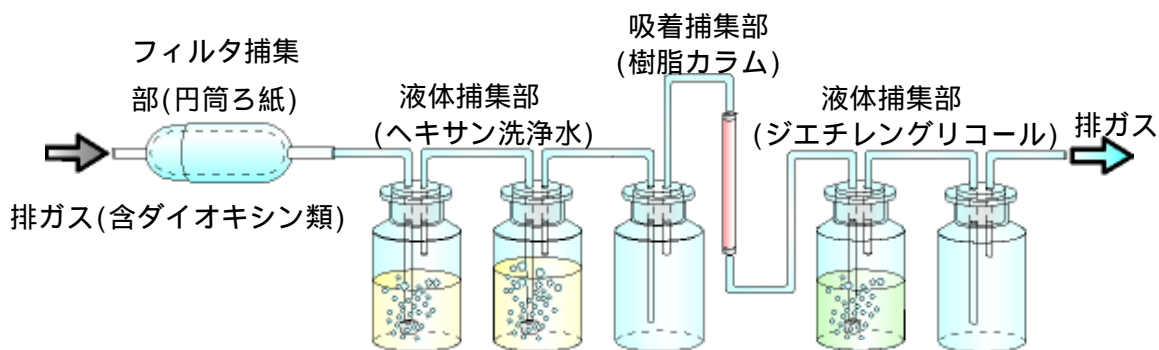


図7 既存化学機器による、排ガス中からのダイオキシン捕集装置の例

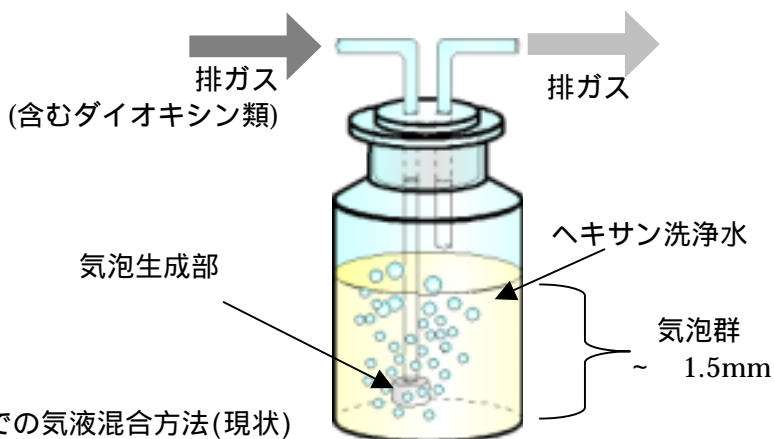


図8 インピンジャー内での気液混合方法(現状)

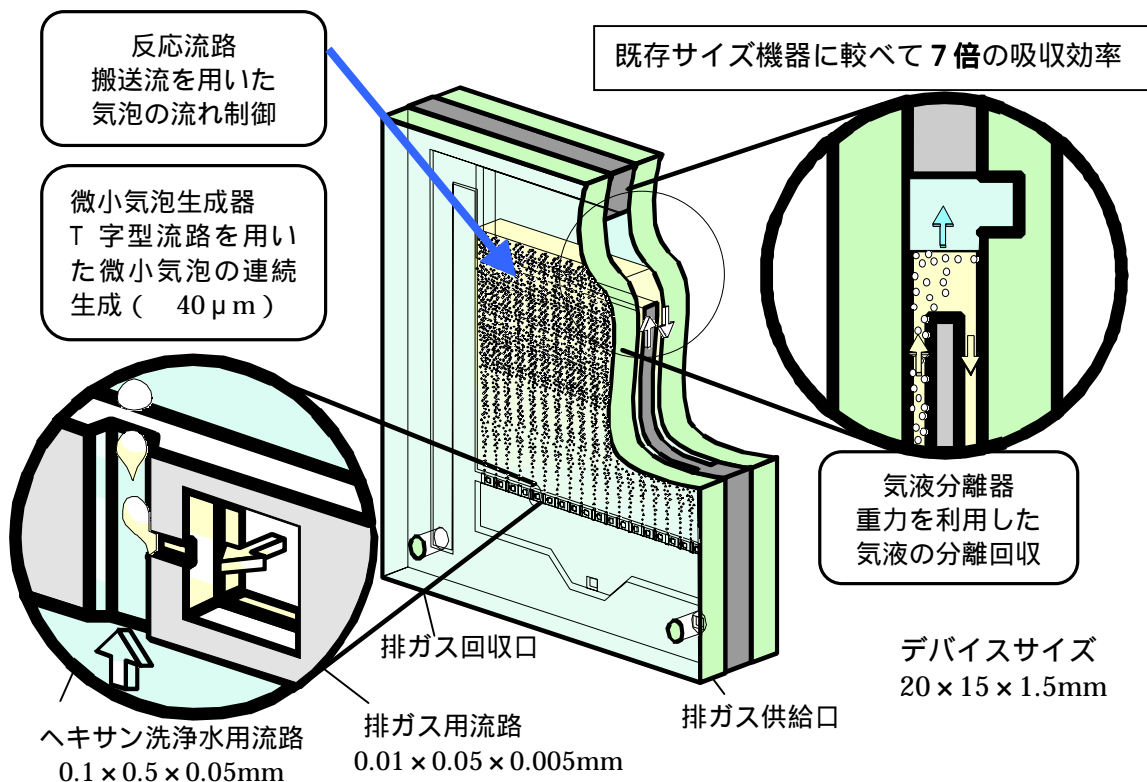


図9 マイクロ吸収デバイスの構成

マイクロ液液抽出デバイス化技術（別表 5，6）

マイクロ液液抽出デバイスが置換しようとする、現状のヘキサン洗浄水-ジクロロメタン間におけるダイオキシン抽出プロセスは、（図7の“液体捕集部 II”）500ml 程度のフラスコに各液を封入し、1Hz 程度で上下に振動させることで攪拌するという方法をとっており、ヘキサン洗浄水中に分散しているダイオキシンをジクロロメタンと接触させることでジクロロメタン側にダイオキシンが移動し抽出できるという操作である。従来の構成で処理時間が長くなる要因の一つとして、水とジクロロメタンの接触割合があり、ヘキサン洗浄水とジクロロメタンとの界面の比表面積（表面積/体積）が重要になる。

今回のマイクロ液液抽出デバイスではシースフロー（図10）の微細化によって比表面積を向上させる技術と、マイクロ液液抽出デバイス内でヘキサン洗浄水とジクロロメタンを分離する技術（図11）の開発に取り組み、試作デバイス自身の開発目標としては幅10 μm 以下のシースフローの生成を目標とした。

試作したマイクロ液液抽出デバイス（図12）では、ICP-RIE 装置を用いた微細なノズル列と縮流路を用いる構造とした。また、併せて開発したマイクロデバイス評価装置（図13）等を利用し、幅10 μm 以下のシースフローの形成を確認し、目標を達成した。

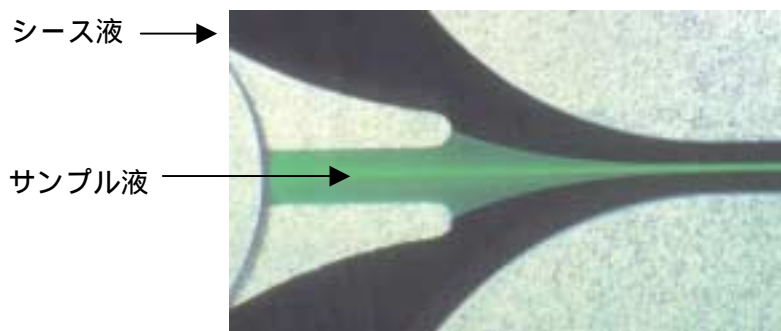


図10 シースフロー

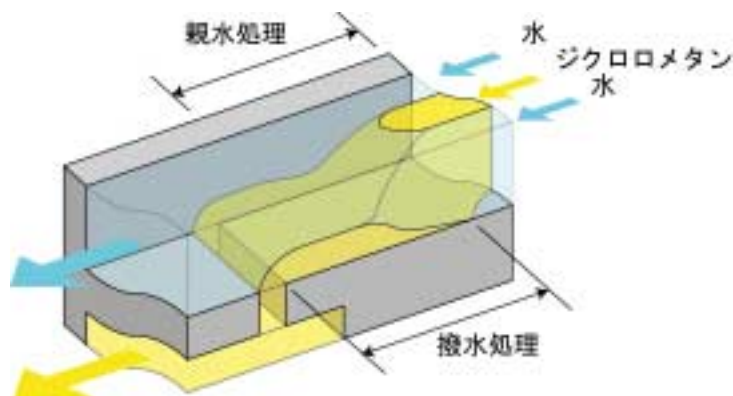


図11 シースフロー終端部での2液分離のイメージ図

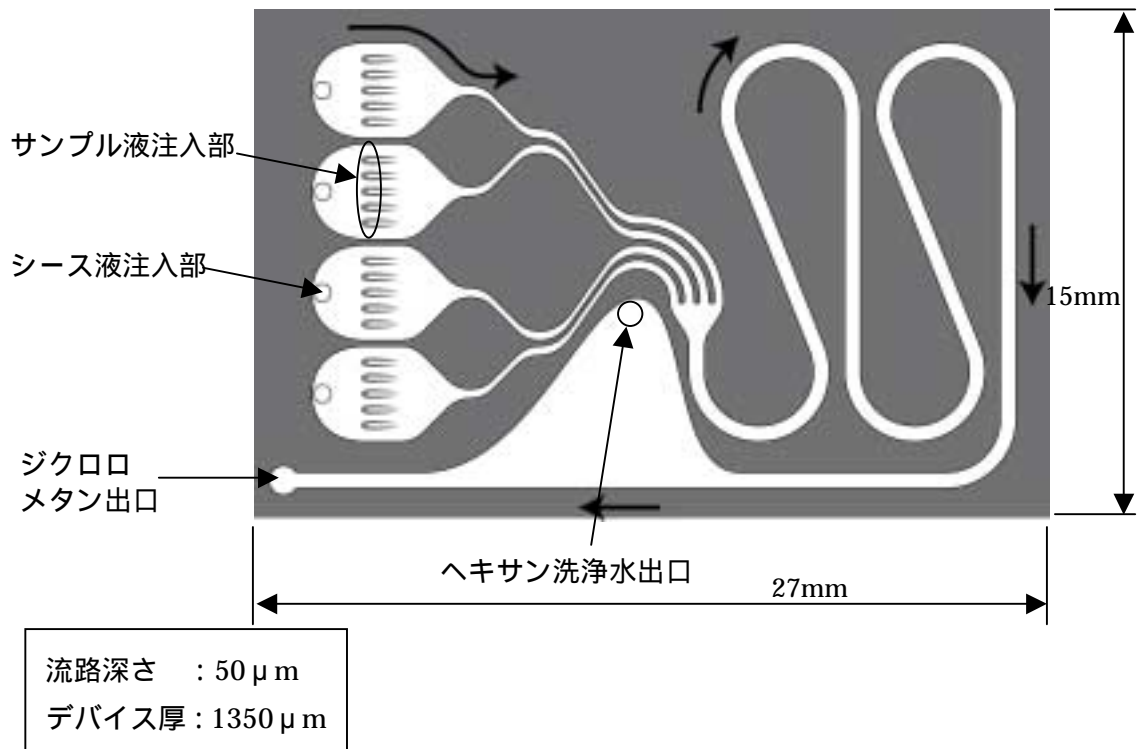


図 1 2 試作マイクロ液液抽出デバイス

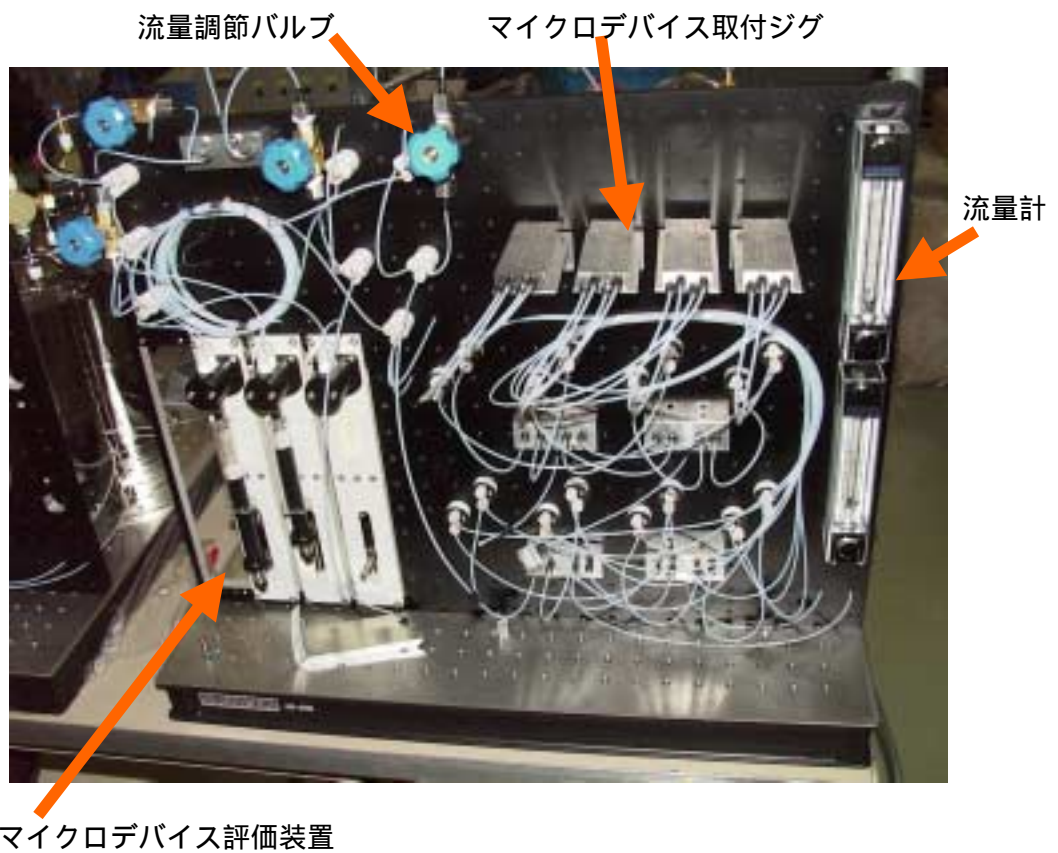


図 1 3 マイクロデバイス評価装置

マイクロ濃縮デバイス化技術（別表7，8）

マイクロ濃縮デバイスでは、図14の如きエバポレータ（蒸発器）を用いる現行の濃縮工程が蒸発効率向上のために行っている、(i) 沸点近傍での揮発制御、() 揮発面上からの蒸気の除去、() 揮発面増幅、3つの機能を有するマイクロデバイスの開発が求められる。

今回の試作デバイスでは、溶媒の薄膜化によって気液界面面積率を大きくとることによる蒸発速度の高速化を目指し（図15）、送液時の溶媒厚さを100 μm とすることを目標とした。

評価実験の結果、試作したデバイスは気液分離メッシュ（図16）を用いることで溶媒を100 μm 以下の厚さで安定送液できることを確認した。また、純水を用いた濃縮実験では10Wの熱量供給で0.11 mL/minの蒸発（処理）能力があり、液膜厚さ400 μm の試作デバイス100枚の並列処理によって、現状30分を超える濃縮時間を3分に短縮が可能であることを確認し、目標を達成した。

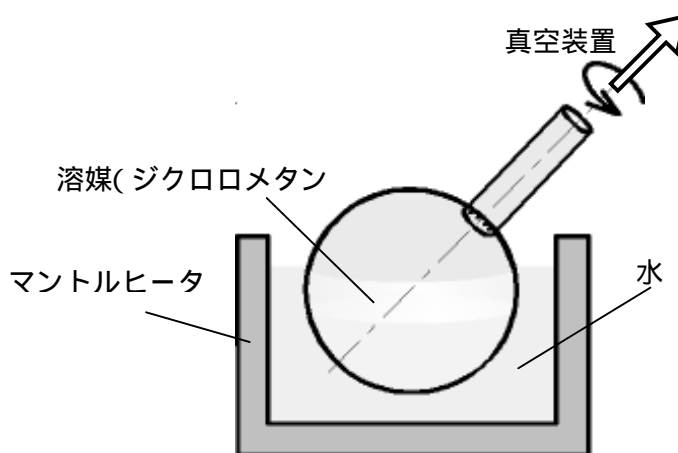


図14 エバポレータを用いた従来の濃縮工程

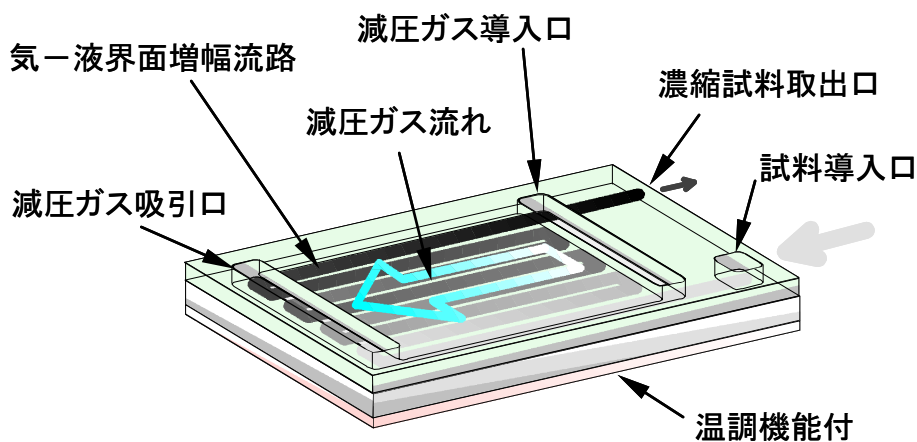


図15 マイクロ濃縮デバイスのイメージ図

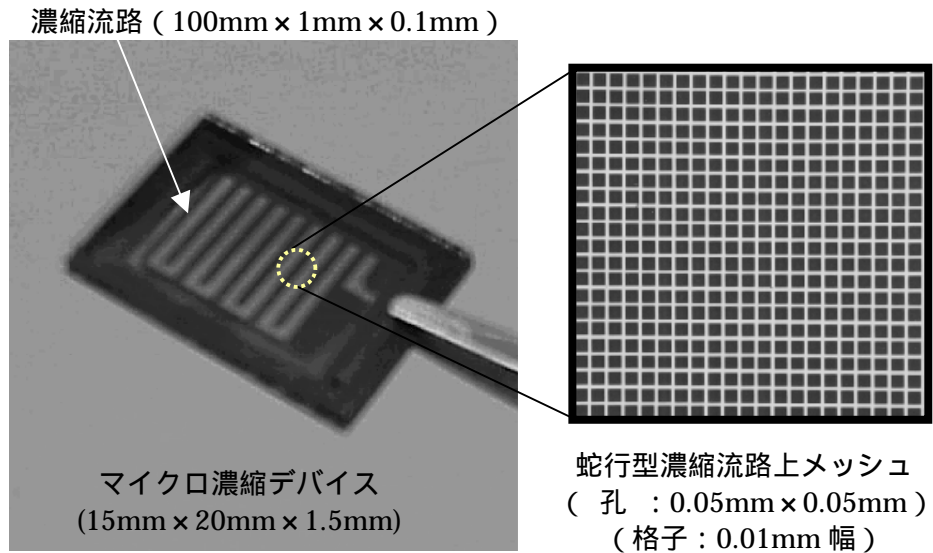


図 1 6 試作マイクロ濃縮デバイスと気液分離メッシュ

簡易評価技術 (別表 9 , 1 0)

ダイオキシンの高速測定用マイクロデバイスの評価を迅速に行うための簡易測定技術を開発した。既存の高感度 GC/MS 装置が 1 日かかる測定を数分程度的高速測定に加えて高感度を目指した改良を行った結果、検出下限値が 13 倍向上した。高感度化を行ったことで、マイクロデバイスで扱われる極微量を希釈して分析することも可能になり、マイクロデバイスの開発に有効な評価技術を構築し、目標を達成した。

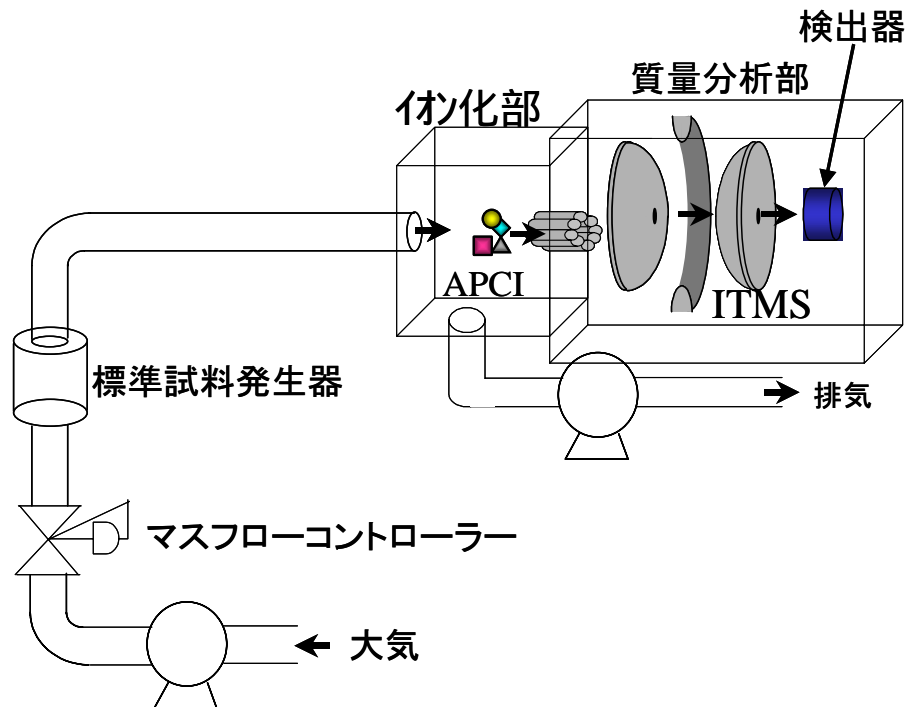


図 1 7 ダイオキシン簡易測定装置実験系の構成

(3) マイクロ抽出デバイスの研究開発（別表 1 1 , 1 2 ）

ダイオキシン分離抽出濃縮工程中の固体-液体間抽出を行う、ソックスレー抽出と脱水工程のマイクロ流体デバイス化の検討を行い、マイクロ抽出デバイスの試作・評価を実施するとともに、将来のシステム実現に必要な攪拌機構の検討、及びマイクロバルブの開発を行った。

現状のJIS K0311では、固体吸着剤に吸着されたダイオキシンは、ソックスレー抽出器によってトルエン溶媒中に16時間かけて抽出される。ソックスレー抽出器は、不揮発性物質を溶媒中に抽出する装置であり、最上部の還流冷却器、中間の固体吸着剤などを配置する抽出管、最下部には溶剤を入れるフラスコ部から構成される。（図 1 8 ）

マイクロ抽出デバイスは、既存ソックスレー抽出器による処理の高速化を目指し、吸着物質付きのマイクロビーズから被吸着物質を抽出するための抽出容器と抽出された被吸着物質を蓄積するための溶媒容器をマイクロスリットで接続した構造とし、2つの反応容器の接続構成を縦型（図 2 0 (a)、デバイス寸法23mm×25mm×1.7mm）と横型（図 2 0 (b)、デバイス寸法22mm×45mm×0.8mm）とした2種類のマイクロ抽出デバイスの試作・評価、環流動作を確認し、原理的に抽出処理が可能であることを確認し、目標を達成した。

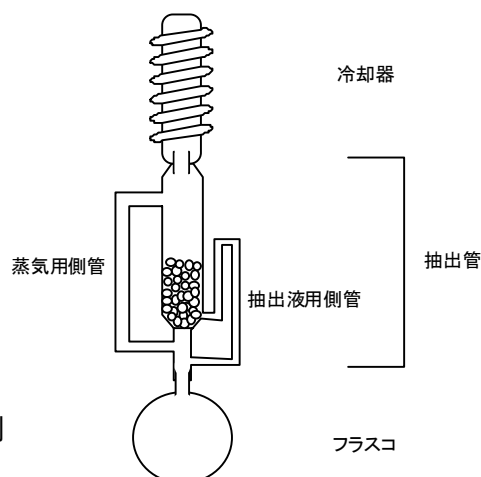
尚、脱水デバイスに関しては、ソックスレー抽出デバイスの検討によって、溶液を蒸発させて還流するマイクロ抽出デバイスが実現できれば、その構成を流用することができるので、その実現性の検証はソックスレー抽出デバイス（図 1 9 ）を対象に実施した。

攪拌機構の検討においては、音響流を攪拌の駆動力に用いることを想定し、最小 1mm の振動子による音響流の発生の確認と音場強度分布等の基礎データを取得するとともに、マイクロ化に向けた課題を抽出し、目標を達成した（図 2 1 ）。

マイクロバルブにおいては、メンブレンにシリコーンゴムを用い、最小流路幅 200 μm、流路深さ20 μmに対応した空圧駆動型のマイクロバルブの試作・評価により、メンブレンへの加圧量と流量との関係を把握し、バルブのON-OFF動作を確認して目標を達成した（図 2 2 ）。



図 1 8 ソックスレー抽出器の例



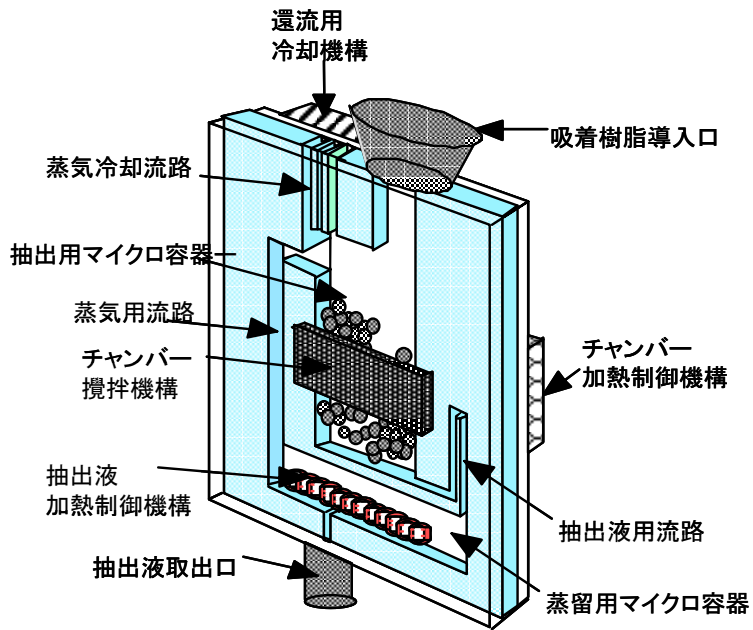
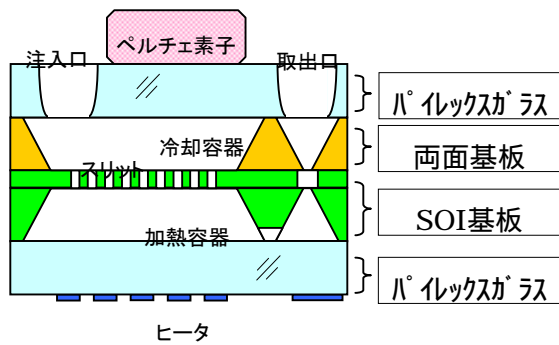


図 19 マイクロソックスレー抽出デバイスのイメージ図



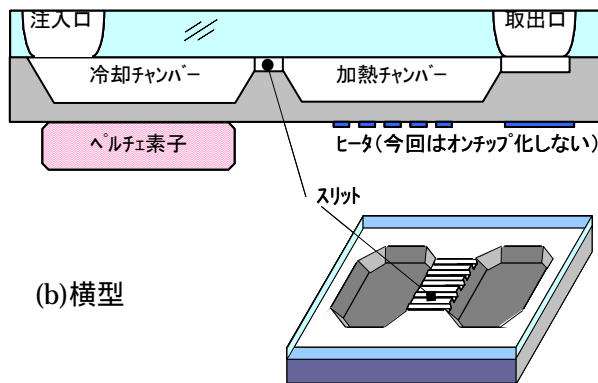
(a)縦型



抽出容器側



抽出溶媒容器側



(b)横型



図 20 マイクロ抽出デバイスの構造図と試作品

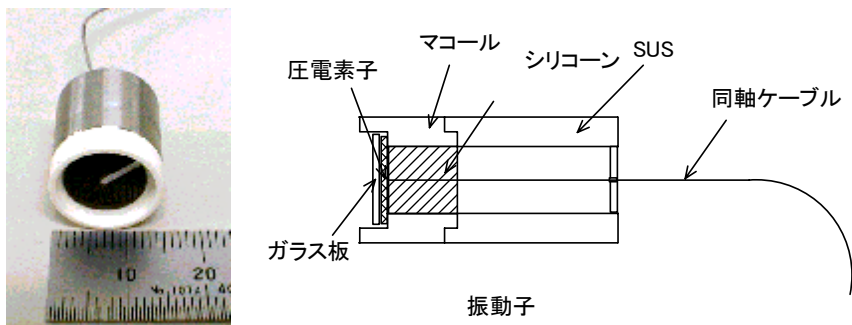
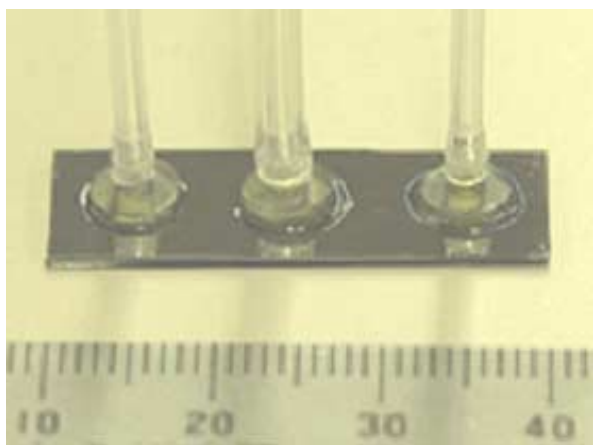
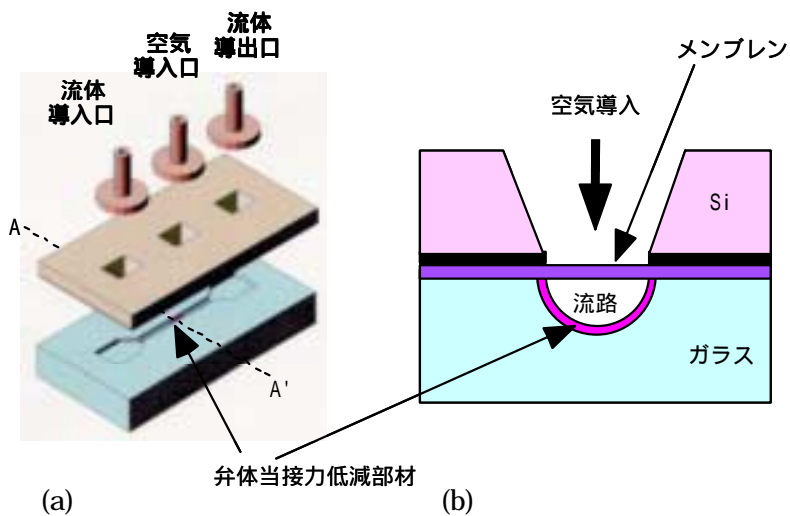


図 2 1 音響流発生用振動子



(b)
図 2 2 マイクロバルブ構成(a)、(b)及び試作品(c)

(4) ダイオキシン液体捕集部冷却デバイスの研究開発

ダイオキシン液体捕集部冷却デバイスは、ダイオキシン液体捕集工程（図 8、9）における排ガスからのダイオキシン捕集時の高温排ガス冷却を用途とする（図 2 3）。ここでは、ダイオキシンの小型液体捕集装置（マイクロ吸収デバイス）の高性能化を達成するために必要な冷却デバイスの試作を通じ、高効率な能動的熱輸送を実現する高性能冷却技術の確立を図るべく、下記項目の研究開発に取り組んだ。

高効率能動的熱輸送技術の研究としては、マイクロで高効率な能動的熱輸送技術を開発するために、薄型で高効率なループ型マイクロ流路を持つサーマルポンプシステムの研究を行った。可動部が不要で、液循環の駆動力に作動流体の蒸気圧の時間変化を利用し、その変動をマイクロ流路上に設けた駆動ヒータの加熱で与えるサーマルポンプシステムの熱輸送量の増大を図り、マイクロポンプの既存事例と比較しても、最大流量 / 駆動部体積比の大きな高効率なポンプを開発した（図 2 4）。

内部観察が容易なガラス基板上に形成したヒータと、銅基板上に形成したマイクロ流路（幅 600 μm 、深さ 120 μm 、流路長 130mm）内に電気めっきで形成した弁を持つサーマルポンプに冷媒を封止した試作デバイスを使用して、弁及びヒータの形状、熱輸送の効率化等を研究し、気泡の発生状態及び流路内の冷媒循環の特性評価を行うなど、要素技術を確立し、目標を達成した。

マイクロ冷却デバイスの開発では、サーマルポンプシステムを利用したマイクロ冷却デバイスを試作した（図 2 5）。

熱輸送の高性能化を図るために、蛇行流路方式の複数流路にサーマルポンプを配したマイクロ冷却デバイスを試作し、気泡の発生状態及び流路内の冷媒循環、及び冷却特性の評価を行った。また、銅基板による封止の研究では、はんだの自己流動性を利用した方法がマイクロ冷却デバイスに適用可能なことを実証した。

デバイス性能の評価では、目標の冷却温度 5 度以下を実証した。また、銅基板による封止の研究によって熱輸送路の厚さが 1mm 以下の冷却デバイスが作製可能なことを実証し、目標を達成した。

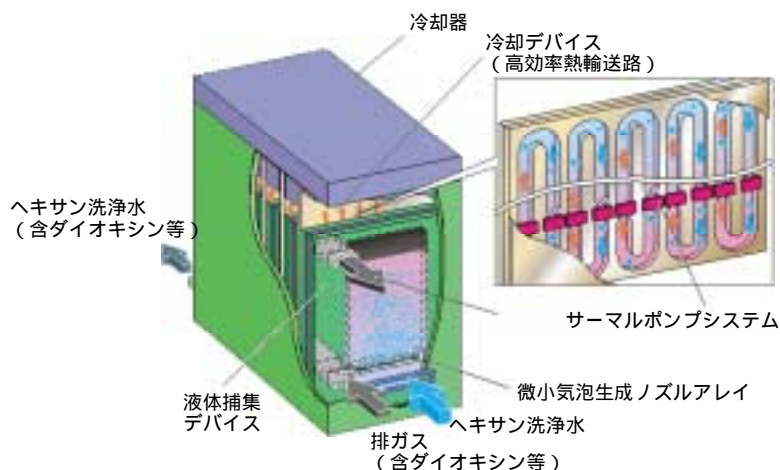
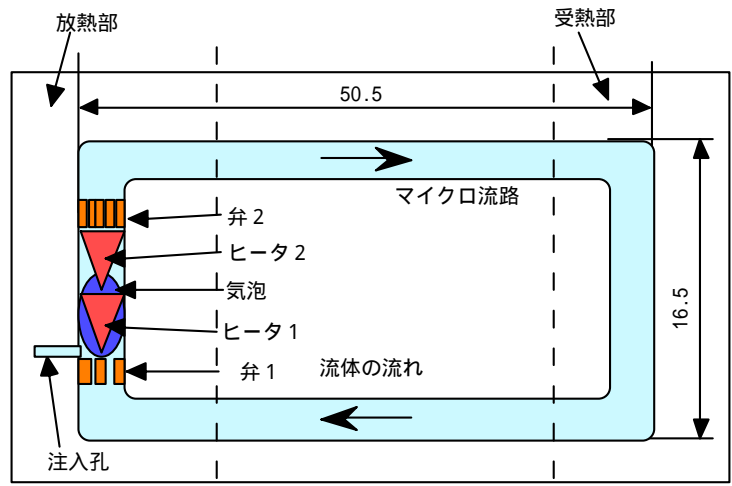


図 2 3 ダイオキシン液体捕集部冷却デバイスイメージ図



マイクロ流路幅:0.6, マイクロ流路深さ:0.1 [mm]

図24 サーマルポンプシステムの構成

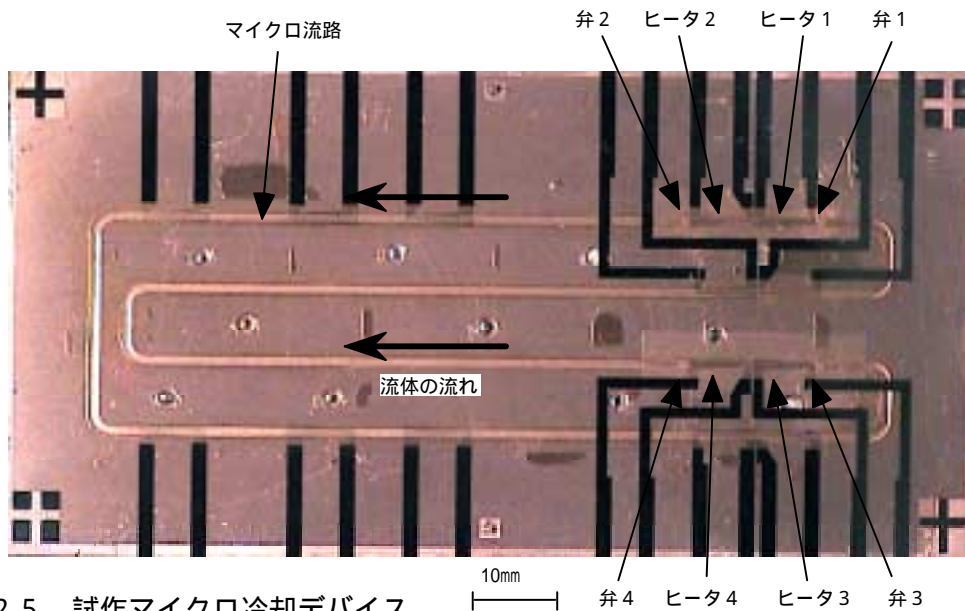


図25 試作マイクロ冷却デバイス

(5) 温度分布測定デバイスの研究開発 (別表 15, 16)

ダイオキシン類測定前処理工程用マイクロ流体システムのモニタリングに必要な温度分布測定デバイスの研究開発を行うと共に、その機能の有効性を検証した。

温度測定方法として非接触式の蛍光式温度計の応用を図り、(図 26)測定精度の確保とスポット径 0.1mm 以下(目標値)を満足する光学設計を行った。温度測定としての精度は評価実験において、目標の 0 ~ 80 の範囲で ± 2 以内、スポット径は $120 \times 150 \mu\text{m}$ の楕円形を得ており、概ね目標を達成した(図 27)。

多点温度測定用(図 26)として開発した光スイッチは、めっきで製作したリボン状の片持ち梁アクチュエータ上に X 線リソグラフィとめっきで製作したミラーを載せた新規構造のデバイスを開発した。(図 28)光による測定技術からの要求に合わせ、大きなストロークを実現するとともに、低反射ロスのスイッチを実現した。性能面では、14V という低い駆動電圧で約 $140 \mu\text{m}$ のストロークを得ることができ、目標の 5ms 以下のスイッチングとスイッチ単体の幅 0.8mm を実現し、目標を達成した。

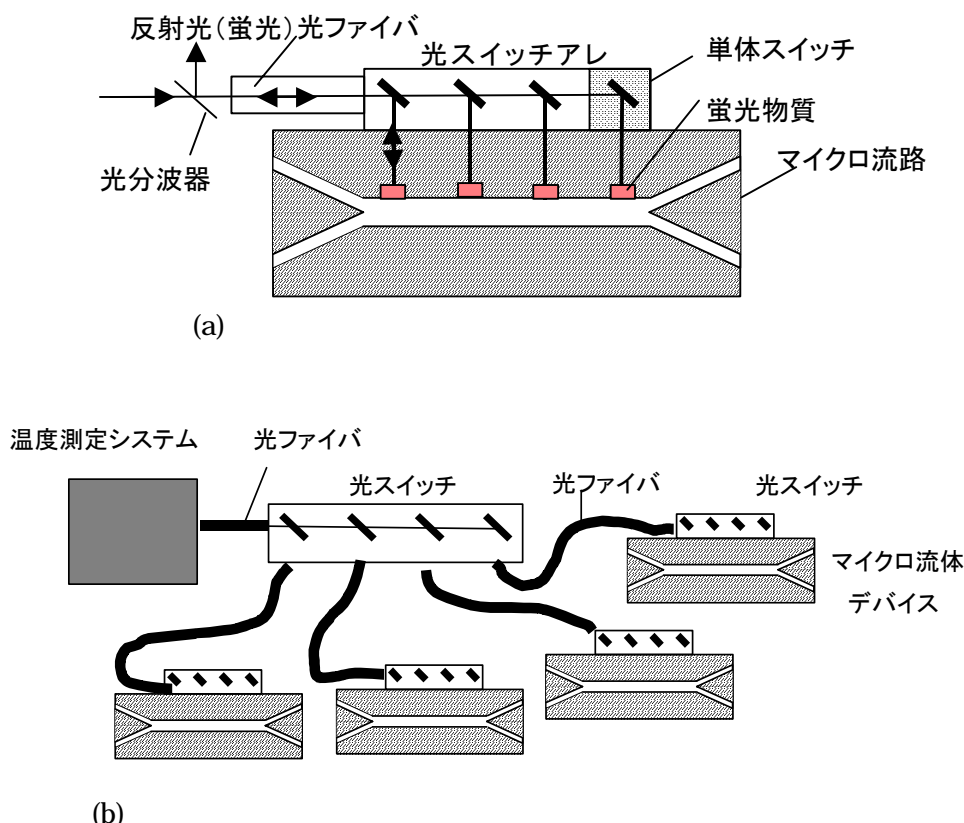


図 26 温度測定デバイスによる多点測定イメージ図(a)と、複数のマイクロ流体デバイスに対する測定イメージ図(b)



図 2 7 試作温度分布測定デバイス

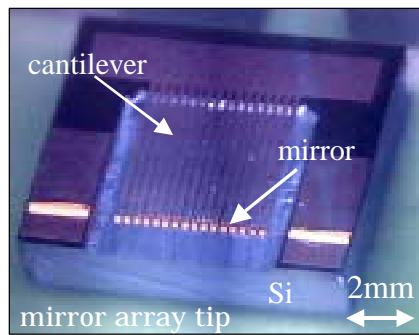
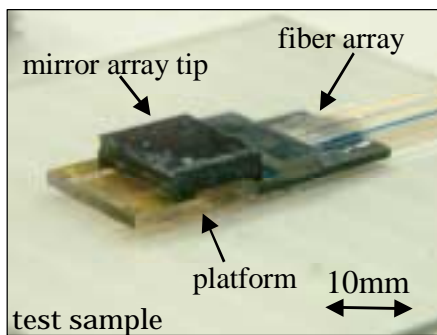
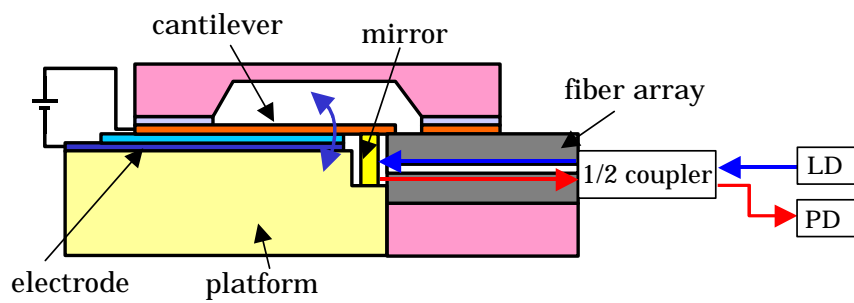
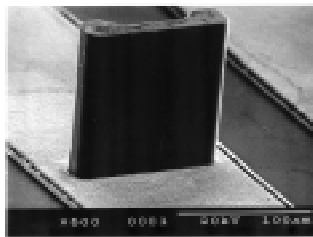


図 2 8 試作した光スイッチ

(6) 流路加工技術の研究開発（別表 17，18）

流路加工技術の研究開発では、稠密な構造を持つマイクロ流体デバイスの製造に有効な加工技術として高精度高アスペクト比の流路加工技術に取り組んだ。また、この加工技術の応用の一例として、マイクロコネクタの嵌め合い部分の要素技術検討も併せて実施した。さらに、高アスペクト比の稠密な加工体の応用例として、微細孔構造を表面に形成することによる吸着機能を流路に付与するための予備的な検討として、多孔性物質として選択したシリカ・メソ多孔体によるダイオキシンの吸着性能の実験も実施した。

流路加工技術の要素技術研究では、高精度な分析を行うマイクロ流体デバイスの実現に不可欠な高い形状精度および表面精度（加工表面の粗さ）を持った流路を加工する技術の研究開発を行った。

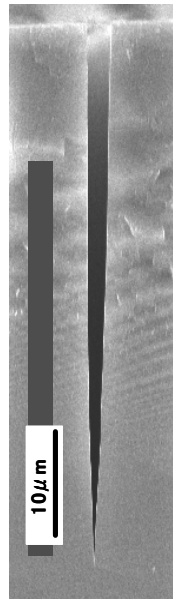
ICP（Inductively Coupled Plasma:誘導結合型プラズマ）エッチャーを用いたシリコン基板上にアスペクト比 46 という深溝の加工において、目標値である溝幅誤差 2% 以下という高精度な溝を形成し、目標を達成した。さらに水素アニールによる溝側壁の平滑化を検討し、Ra にして 10nm 以下の平滑度を得た（図 29）。

マイクロコネクタの要素技術研究では、高精度加工による嵌め合い可能なクリアランスの検討とクリアランスが流路特性に及ぼす影響を検討した。

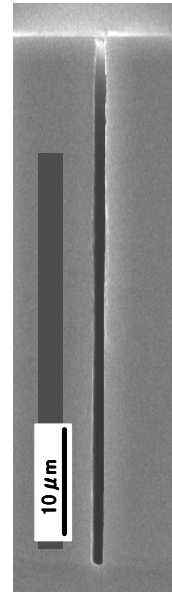
前述の ICP エッチャーを用いて製作した嵌め合い試験片により実施した実験結果から、嵌め合い可能なクリアランスは、作業性を考慮すると 1mm のコネクタにおいて 5%クリアランスまでであることを確認し、目標を達成した（図 30）。

また、別途実施した実験によって、嵌め合いにより接合可能で流量の変動に影響を与えないクリアランスがあることを確認した。さらに、水素アニールの利用によって、嵌め合い時のエッジの欠けを防ぐ方法を提示した。

流路表面でのダイオキシンの分離・濃縮の可能性検討では、マイクロ流路表面への多孔質材料の成膜によるダイオキシン類の吸着を目論んで、細孔径 2nm のシリカメソ多孔体粉末のダイオキシン吸着性能の評価を実施した。既存吸着剤（シリカゲル）途の比較では吸着性能が劣っていることを確認し、原因の推定と今後の技術課題を明らかにした（図 31）。



従来プロセス		新規プロセス
51.2	深さ(μm)	50.6
2.21	開口幅(μm)	1.10
23	アスペクト比	46
89.4	角度(deg)	89.8



(a) 従来プロセス

(b) 新規プロセス

図 2 9 ICP エッチャーによる、高精度高アスペクト比加工

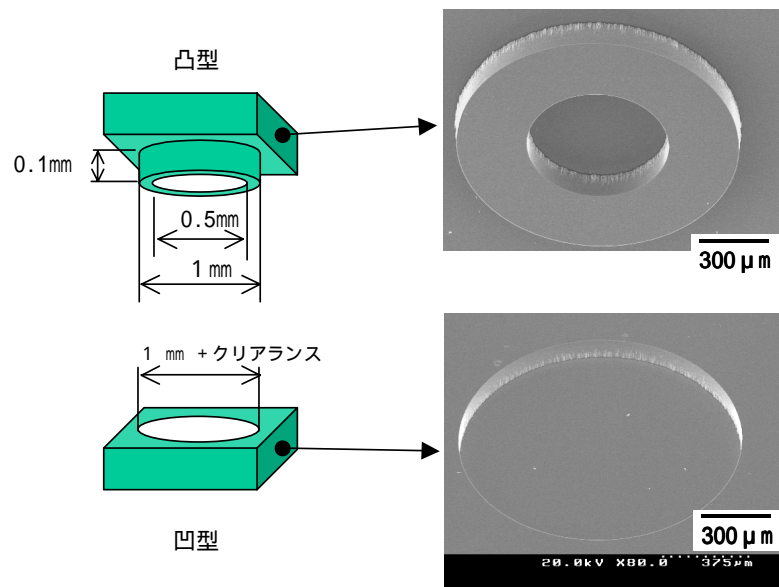


図 3 0 コネクタの嵌め合い精度の検討



図3 1 シリカ・メソ多孔体のダイオキシン吸着実験

別表1 目標設定と達成状況 財団法人マイクロマシンセンター

研究項目	研究目標	目標の設定根拠	成果と目標に対する達成度、
<p>ダイオキシン測定前処理用マイクロ流体システムと構成デバイスに関する検討</p> <p>「マイクロ流体システムの仕様設定」 「マイクロ流体デバイスの個別仕様設定」</p>	<p>マイクロ流体デバイスをマイクロ流体路で接続して構成した、ダイオキシン類測定前処理工程用のマイクロ流体システムについて、システム仕様を提示する。</p> <p>上記のシステム検討で想定したマイクロ流体システムに関して、各要素工程において必要な機能・性能を検討し、システムの構成要素である吸収・抽出・濃縮など全てのマイクロ流体デバイスが具備すべき要件を明らかにする共に、それらの仕様を提示する。</p> <p>システムの要求に適うマイクロ流体デバイスの実現に必要な要素技術（マイクロ加工技術、マイクロ計測技術等）を明らかにする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ ダイオキシン類測定前処理工程のマイクロ流体システム化に対して、処理時間の短縮等のマイクロ化による効果が得られるシステムを考案する必要がある。 ・ 前例の無いシステムのマイクロ化にあたって、既存の分析機器での処理による JIS 規定のフローを構成する個々の要素工程をマイクロ流体デバイスに置き換えた際に、マイクロ流体デバイスが有効に機能し得る処理内容を考案する必要がある。 ・ JIS 規定のフローを規範にしながらも、マイクロ化したシステムが高効率且つ安定的に稼働し得るシステムを考案する必要がある。 ・ 前処理フロー中の要素工程での処理が高効率な実行を可能とするために、個々のマイクロ流体デバイスで行われる抽出・濃縮等の処理内容とデバイスが具備すべき機能、及びそれを実現するために必要な微細加工等の要素技術を明らかにする必要がある。 ・ システム要求を満たすデバイスの個別仕様は本事業で試作・評価するプロトタイプ設計や機能評価のための情報として必要である。 ・ 本事業の試作・評価の対象外のデバイスに関しても、システムの成立要件として、機能と仕様を明らかにする必要がある。 	<p>JIS に定められた前処理工程のフローに基づいて、現行の方法に比して処理時間の大幅短縮等が可能な2種類のマイクロ流体システムの仕様を設定し、目標を達成した。</p> <p>上記において、JIS の前処理フローにある円筒ろ紙による気固分離と固形分のハンドリング等、そのままではマイクロ流体デバイス化が困難な工程をデバイス機能の多機能化によって解決可能しようとするシステム構成を考案した。</p> <p>さらに JIS 規定の要素工程中でダイオキシンの回収率が高い工程に着目したシステム1種類の仕様を設定した。</p> <p>各要素工程で必要な機能・性能を検討し、システムの構成要素である吸収・抽出・濃縮など全てのマイクロ流体デバイス毎に具備すべき要件を明らかにすると共に、それらの機能的仕様を設定した。さらに、システムのモニタリングに必要な計測デバイスやシステム中の流体の操作に必要なマイクロポンプ、マイクロバルブ、マイクロコネクタに対する要求と技術的課題を抽出し、目標を達成した。</p> <p>デバイスの成立に必要な微細構造体加工技術や吸着ビーズのハンドリング技術などの技術課題の抽出を実施し、目標を達成した。</p> <p>さらに、マイクロ流体システム・デバイスに関する標準化についても検討を加えた。</p>

別添2 成果と実用化の見通し 財団法人マイクロマシンセンター

研究項目	利用される技術成果の概要	実用化への課題	応用製品 / 分野と導入効果、実用化時期
<p>ダイオキシン測定前処理用マイクロ流体システムと構成デバイスに関する検討</p> <p>「マイクロ流体システムの仕様設定」</p> <p>「マイクロ流体デバイスの個別仕様設定」</p>	<p>JIS 標準工程のフローに準拠した、世界に前例の無いマイクロ流体デバイスで構成された、高速・高効率で安全性の高い前処理用システムと構成デバイスの仕様</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 今回試作したプロトタイプの完成度の向上 2. 今回試作に取り組まなかったデバイスの研究開発 3. システム化に必要なポンプなどの流体制御用マイクロデバイスや温度計測以外のセンサー、デバイス間及び前処理後の計測機器とのインターフェースの研究開発が必要である。 	<p>ダイオキシン類測定前処理用マイクロ流体システム</p>

別表3 目標設定と達成状況 株式会社日立製作所

研究項目	研究目標	目標の設定根拠	成果と目標に対する達成度
<p>マイクロ吸収デバイス化技術</p>	<p>1. 微細ノズルアレイ加工 (ノズルサイズ: 10 μm 以下)</p> <p>2. サンプルガスの微小気泡化 (気泡サイズ: 直径数 10 μm 以下)</p>	<p>1. サンプルガス中のダイオキシン類をヘキサン洗浄水に効率良く吸収させるには、サンプルガスを微小気泡化してヘキサン洗浄水との接触面積を増大させることが必須。微小気泡を安定して生成するためには、その生成方法とともに、微小気泡生成部の高精度な加工方法を確立することが重要。ノズルから吐出される微小気泡のサイズは、ノズルサイズより大きくなるため、そのサイズは 10 μm 以下が望ましい。</p> <p>2. インピンジャーを用いた現行吸収システムでの気泡サイズは mm オーダーであることから、気液の界面面積率を二桁向上させるには、数 10 μm 以下とする必要がある。</p>	<p>1) マイクロ吸収デバイスに関し、サンプルガス内のダイオキシン類を効率よく吸収する方式について、気液界面面積率を大きくすることで吸収効率の向上を目指した、「サンプルガスを微小気泡化させる方式」、「ヘキサン洗浄水を微小液滴とする方式」、「サンプルガス・ヘキサン洗浄水ともに薄いシート状とする方式」の3方式の基礎検討を行なった。</p> <p>2) 上記結果を基に、「サンプルガスを微小気泡化する方式」と「サンプルガス・ヘキサン洗浄水とともに薄いシート状にする方式」について、その第一次試作デバイスの構造・プロセス設計を行い、日立が独自に開発した多段異方性エッチング技術を用いて試作・評価した。</p> <p>3) 第一次試作デバイスの評価結果を基に、「サンプルガスを微小気泡化させる方式」に絞り込み、第二次試作デバイス(15×20×1.5mm)の設計・試作を行なった。試作デバイスでは、微小気泡を安定して生成するため、T字型流路(ヘキサン洗浄水流路: 0.1mm×0.5mm×0.05 mm, サンプルガ水流路: 0.01mm×0.05mm×0.005mm)を採用し、0.5mmピッチで18個を10mm幅の流路内に並べて、その気泡生成特性を観察した。</p> <p>4) 上記T字型流路を作成にするにあたり、評価パラメータとしてT字型流路を構成する2つの流路の深さを変化させるため、日立が独自に開発したTwin-Bath法(異なるエッチング特性を有するエッチング液を組み合わせることで加工形状を制御する手法)を適用した。</p> <p>(以下次ページ)</p>

(続き) 別表 3 目標設定と達成状況 株式会社日立製作所

研究項目	研究目標	目標の設定根拠	成果と目標に対する達成度
			<p>5) 上記評価に当たり、デバイス単体及び並列処理できる評価系を構築した。評価系では、高速度カメラによりノズルから吐出される気泡の様子を観察することができ、40 μm の微小な気泡が連続して生成可能であることが確認された。</p> <p>6) 追加評価として、水酸化ナトリウムと塩酸の中和反応における当量点近傍の pH の急激な変化を利用して、当量点至るまでの気液の混合比を計測した。その結果、一般に用いられているインピンジャーを用いて行なった中和反応に対して、開発したマイクロ吸収デバイスを用いると、0.1[mol/L]の塩酸への水酸化ナトリウム蒸気の吸収効率が約7倍となることを確認した。</p>

別表4 成果と実用化の見通し 株式会社日立製作所

研究項目	利用される技術成果の概要	実用化への課題	応用製品 / 分野と導入効果、実用化時期
<p>マイクロ吸収デバイス化技術</p>	<p>・本デバイスの開発に当たり、得られた技術成果は以下の通り。</p> <p>1．気体中に含まれる微量成分を抽出する手段として、液体中に取込む手法を採用し、その実現手段として、抽出液中への気体の微小気泡分散化技術を開発した。</p> <p>2．前記気液混合流体を分離回収するため、撥水膜を用いた気液分離技術を開発した。</p>	<p>・本技術を実用化するには、まず、本デバイスに気体を導入する前段階として、数μm以上のサイズを持つ固形物を除去するフィルター機能が必要となる。また、デバイス内にサンプルガスや抽出液を導入するシステムや、そのシステムとデバイスとを繋ぐ微小な継手等、実装技術が必要となる。</p>	<p>・本開発技術は、ダイオキシン等有害化学物質の分析におけるダイオキシンの捕集工程へ適用予定（H16年頃）。</p> <p>・ダイオキシン以外にも分析装置では測定出来ないほどの微量しか含まれていない気体中の含有成分を濃縮する工程へ適用が考えられ、携帯型環境計測装置の開発に役立つ。</p> <p>・医療等において、大気中を漂う細菌等の捕集への適用も可能である（院内感染対策等）（H17年頃）。</p> <p>・分析の前処理以外としては、マイクロリアクタ等を用いた合成・分析装置内で発生する有害蒸気の除外装置として用いることが可能である。</p>

別表5 目標設定と達成状況 株式会社日立製作所

研究項目	研究目標	目標の設定根拠	成果と目標に対する達成度
<p>マイクロ液液抽出デバイス</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・高効率抽出のためのシースフローアレイ流路設計技術の開発。 ・シース幅 10μm 以下のマイクロシースフローアレイの製作技術の開発。 	<ul style="list-style-type: none"> ・流れの中で液液抽出を行うためには、2液の接触界面を増大させた状態を保ったまま流す必要がある。そのために微小なシースフローにより2液の界面を形成させる。一組のシースフローでは1デバイス当たりの処理量が低くなり易いため、シースフローをアレイ状に形成することで、処理量の増大を狙う。抽出効率向上にはシースフローアレイのフロー幅の均一化が重要であるが、技術的課題がある。 ・シースフローのフロー幅の減少は抽出効率に顕著に現れる。また、抽出反応は実質的に1秒以下で終了させることが望ましい。この時間内にマイクロデバイス内で十分に抽出を遂行できる時間を確保するには、シースフローを用いた抽出について推算すると、シース幅を10μm以下にする必要があることとなる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・考案したアイデアに対して、流体数値解析を行い妥当性を確認しながら試作を繰り返すことで、シースフローアレイを実現できた（達成率100%）。 ・流路幅100μmのU字形ノズルからサンプル液を導き、サンプル液との流量比を小さくし、さらにシース液と共にサンプル液をマルチ縮流路に通すことで、フロー幅8μmを達成した（達成率100%）。 ・目標には掲げていないが、抽出後の分離を高速で行う方法について検討した。 <ul style="list-style-type: none"> -撥水膜や親水膜などの表面処理を行うことにより、対象物質を強制的に分離する方法について調査した結果、撥水面と親水面との間隔の使用流体に対する最適化が課題であることを確認した。 -シリコン面上に超微細な多孔膜を形成し、用いる液体との親和性を利用して、対象物を分離方法について調査した結果、多孔膜上の穴径と不純物を含む使用流体の粘度との関係の把握が課題であることを確認した。 -形成したシースフローを破壊して、液滴を成長させ、比重差を利用して各液体を分離する方法について検討した結果、液滴の重量、不純物を含む使用流体の粘度、液滴の成長性との関係の把握が課題であることを確認した。 以上の3方法、いずれの場合においても、原理的には実現できると予想できるため、上記課題を解決するために、現在パラメータサーベイを行い最適値を探索および高効率な分離方法の開発を進行中。

別表6 成果と実用化の見通し 株式会社日立製作所

研究項目	利用される技術成果の概要	実用化への課題	応用製品 / 分野と導入効果、実用化時期
<p>マイクロ液液抽出デバイス</p>	<ul style="list-style-type: none"> 本研究により得られたサンプル液幅 8 μm という値は世界最高水準の値であり、サンプル液中に含まれる物質は多くとも 4 μm 移動するとシース液と出会うことができる。このため、2液間で行う化学反応にこのデバイスを適用すると、これまででない速さで化学反応を終結させることができるようになる。 	<ul style="list-style-type: none"> 強力な溶解力を持つ有機溶媒を使用することが想定されるが、製品としての品質に耐えうる薬剤耐性について確認。 本デバイスを並列もしくは直列に接続する場合に、各デバイスの性能を發揮したまま接続するための液体の制御技術の確立。 	<ul style="list-style-type: none"> ダイオキシン等有毒化学物質含有ヘキサン洗浄水からジクロロメタンを利用することでダイオキシンを抽出する分析よう前処理システム。本デバイスの導入により、高速・高効率で前処理を進めることができる。(H16年頃) ダイオキシン以外であっても、大気や土壌、水中等の環境に含まれる分析装置では検出できないほどの微量な成分を検出するための抽出行程への適用 化学合成等での生産物の製造・精製工程への適用。

別表7 目標設定と達成状況 株式会社日立製作所

研究項目	研究目標	目標の設定根拠	成果と目標に対する達成度
<p>マイクロ濃縮デバイス化技術</p>	<p>1. サンプルの液膜化 (液膜厚: 100 μm オーダー)</p>	<p>1. 気化速度は、単位体積あたりの気化表面積と加熱面積に依存する。従って、気化面積と加熱面積を両立させる液膜にすることが有効である。また、その厚みとして、msec オーダーでの加熱が可能となるサブミリオーダーまで薄膜化する。</p>	<p>1) マイクロ濃縮デバイスに関し、効率よく濃縮する方式について、気液界面面積率を大きくすることで濃縮効率の向上を目指した、「試料の微小液滴化」、「試料の液膜化」、「試料中への微小気泡の混入」の3方式について基礎検討を行なった。</p> <p>2) 検討結果を基に、「試料の液膜化」、「試料中への微小気泡の混入」について、その第一次試作デバイスの構造・プロセス設計を行い、試作・評価した。</p> <p>3) 第一次試作デバイスの評価結果を基に、「試料の液膜化」に絞り込み、第二次試作デバイス(15×20×1.5mm)の設計・試作を行なった。試料の液膜化のため、薄いシート状の流路内を厚み方向に気体流路と液体流路に分離する気液分離メッシュ(0.05mm×0.05mm角の孔を0.06mmピッチで41500個)を考案し、その加工技術として日立が独自に開発した多段異方性エッチング技術を適用した。また、気液の分離性を確保するため、気液分離メッシュ部のみを選択的に撥水膜をコーティングした。</p> <p>4) 第二次試作デバイスに純水を通水し、気液分離メッシュにより気体と液体が分離できることを確認した。</p> <p>5) 第二次試作デバイスの濃縮性能を評価するため、マイクロ濃縮デバイスに0.17[mL/min]の純水と340[mL/min]の乾燥空気を供給しながら10[W]の熱量を供給する実験を行なった。流路の液膜の厚さは400 μmである。その結果、マイクロ濃縮デバイスの蒸発能力は、0.11[mL/min]であることが確認できた。この性能がジクロロメタンの蒸発でも発揮されれば、200[mL]を100[μL]に濃縮するために要する時間は、現状は30分を超えるが、100チップの並列処理により3分弱となり、濃縮工程時間の短縮が可能となる。</p>

別表8 成果と実用化の見通し 株式会社日立製作所

研究項目	利用される技術成果の概要	実用化への課題	応用製品 / 分野と導入効果、実用化時期
<p>マイクロ濃縮デバイス化技術</p>	<p>・本デバイスの開発に当たり、得られた技術成果は以下の通り。</p> <p>1. 液体を濃縮する手段として、ヒータ、サンプル液、乾燥気体、を3層の薄いシート状として、気化速度を上げる世界初のマイクロチップを用いた液体高速濃縮技術を開発した。</p>	<p>・本技術を実用化するには、サンプル液の温度を高精度に制御するための加熱システムや温度計測システムの開発が必要となる。</p> <p>また、デバイス内にサンプルガスや抽出液を導入するシステムや、そのシステムとデバイスとを繋ぐ微小な継手等、実装技術が必要となる。</p>	<p>・本開発技術は、液体中に抽出されたダイオキシン等有害物質の濃度を上げる濃縮工程に適用予定（H16年頃）。</p> <p>・ダイオキシン以外であっても大気や土壌、海、湖、河川等の環境に含まれる分析装置では検出できないほどの微量な成分を検出するための濃縮工程への適用が考えられる。</p> <p>・化学合成等での生産物の精製工程等の後に行なう濃縮工程への適用も考えられる（H17年頃）。</p> <p>・化学合成では、濃縮だけでなく固形化（結晶等の析出）への適用も考えられる。</p>

別表9 目標設定と達成状況 株式会社日立製作所

研究項目	研究目標	目標の設定根拠	成果と目標に対する達成度
簡易評価技術の設計・製作	マイクロデバイスで抽出された資料中のダイオキシン類を簡易的に高速に評価するために大気圧化学イオン化質量分析技術を応用した簡易評価技術を開発する。	各マイクロデバイスを統合システム化する段階において、各マイクロデバイスのアレイ数や流量等のシステムパラメータを最適化していく必要がある。そのためには実際のサンプルを利用した繰り返しの評価実験が必須となるが、JISで定められている方法を利用すると上記評価実験を行った場合、膨大な時間と労力を要する。そこでダイオキシンに準じた、入手・取り扱いのしやすい物質を対象とした簡易評価系が必要となる。	既存の高感度GC/MS装置が1日かかる測定を数分程度の高感度測定に加えて高感度を目指して改良を行った結果、検出下限値が1.3倍向上した。高感度化を行ったことで、マイクロデバイスで扱われる極微量を濃縮度を一桁程度落とした状態で、分析することも可能になり、マイクロデバイスの開発に有効な評価技術が構築された。

別表10 成果と実用化の見通し 株式会社日立製作所

研究項目	利用される技術成果の概要	実用化への課題	応用製品/分野と導入効果、実用化時期
簡易評価技術の設計・製作	<ul style="list-style-type: none"> 本デバイスの開発に当たり、得られた技術成果は以下の通り。 マイクロデバイスで抽出された資料中のダイオキシン類を簡易的に高速に評価するために大気圧化学イオン化質量分析技術を応用した簡易評価技術を開発した。 	<ul style="list-style-type: none"> 本技術を実用化するには、GC/MSを用いたシステムに試料を導入するためのサンプリング技術を開発する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 本開発技術は、マイクロデバイスを用いたダイオキシン分析の前処理システムの開発のためのツール技術として供せられる（H16年頃）。 ダイオキシン以外であっても大気や土壌、海、湖、河川等の環境に含まれる分析装置では検出できないほどの微量な成分を検出するための前処理システムの開発ツール技術としての適用も考えられる（H16年頃）。 その他、ガス内の物質を濃縮させたい用途、マイクロ化学プラント等の開発ツール技術としても適用可能である（H16年頃）。

別表 1 1 目標設定と達成状況 オリンパス光学工業株式会社

研究項目	研究目標	目標の設定根拠	成果と目標に対する達成度
<p>マイクロ抽出デバイスの試作・評価</p>	<p>微小流体還流機構を伴うマイクロ流体デバイスの試作・評価を実施し、流体還流動作の検証を行う。</p> <p>・デバイスのサイズ： 数 10mm × 数 10mm</p>	<p>ダイオキシン類測定前処理において処理時間短縮上のネック工程となっているソックスレー抽出、及び脱水工程について、マイクロ流体デバイス化による抽出効率向上が原理的に可能なことを確認するためには、基本的な物理的機能である還流機能を検証する必要がある。そこで、実際のデバイスを試作し、還流動作を検証することを目標とした。</p> <p>また、デバイスの目標サイズは、ソックスレー抽出で処理速度を 1 桁以上向上させることを目論んで、直径 100 μm オーダーの微小ビーズに対応したデバイスサイズとして、左記の数値目標を設定した。</p>	<p>抽出容器と蓄積容器の接続構成を縦型とした抽出デバイスの試作・評価を実施した。縦型デバイス（サイズ 23 × 25 × 1.7mm）は抽出容器のエッジ部に溶液が滞留し蓄積容器への液体輸送に影響を与えることが判明した。そこで還流効率は低下するが上記問題を構造的に解決した 2 つの容器の接続構成を横型（サイズ 22 × 45 × 0.8mm）とする抽出デバイスの試作・評価を実施した。加熱・冷却機構として市販のフィルム状ヒータ、Al 板を使用し、横型デバイスの評価した結果、0.15cc の純水、及びトルエンによる還流動作を確認した。この動作時間は 2 分強と高速であるとともに、ヒータを ON-OFF することで繰り返し還流動作が行えることも確認した。</p> <p>以上の間流動作の確認により、抽出処理が可能なが原理的に検証でき、目標を達成した。</p>
<p>微小リアクタ、流路の設計・製作技術の開発</p>	<p>微小流体還流機構を伴うマイクロ流体の物理現象をシミュレートするマイクロ流体シミュレーション技術を検討しマイクロリアクタの設計を行うとともに、それを実現するための加工技術を開発する。</p>	<p>微小流体還流機構を伴うマイクロ流体デバイスは研究開発例が殆どなく、それらを設計・加工する技術は全く確立されていない。</p> <p>そこで、このようなデバイスを実現するための基盤技術として、デバイス設計のためのシミュレーション技術の検討、デバイス設計、及びそれを実現するための加工技術の開発を目標とし、上記の「マイクロ抽出デバイスの試作・評価」に先だって実施した。</p>	<p>マイクロ抽出デバイスは、吸着物質付きの微粒子から被吸着物質を抽出するための抽出容器と抽出された被吸着物質を蓄積するための溶媒容器をマイクロスリットで接続した構造とした。2 つの容器間の溶媒輸送機構は、マイクロスリットを通してサイフォンの原理で行う。</p> <p>シミュレーション技術の検討 マイクロスリットを通して 2 つのマイクロ容器間の液体輸送を行う際、マイクロスリット内に発生する圧力損失によって液体輸送に影響するため、流体シミュレーションを用いてマイクロスリットに関する検討を行った。その結果、マイクロスリットを微細化すると、表面力や粘性の影響により圧力損失が無視できなくなり、液体輸送速度の低下が生じることが判明し、マイクロスリットに関する設計指針を得た。 (以下次ページ)</p>

(続き) 別表 1 1 目標設定と達成状況 オリンパス光学工業株式会社

研究項目	研究目標	目標の設定根拠	成果と目標に対する達成度
(続き)			<p>(続き)</p> <p>デバイス設計</p> <p>上記のシミュレーション結果を基に、サイフオンの原理を利用せず、流体デバイスのマイクロ化効果を利用した新たな抽出デバイスを設計した。蓄積容器内の溶媒を気化させることでマイクロスリットを通して溶媒を抽出容器に輸送し再び液化することで溶媒の粘性を利用して容器内に溶媒を保持するとともに、2つの容器間圧力差によりマイクロスリットを通して溶媒を再び蓄積容器に輸送するものである。</p> <p>加工技術</p> <p>上記デバイスを実現するためには、多層異種基板接合技術、及びマイクロスリット形成技術を確立する必要がある。そこで、熱接合技術や陽極接合技術を使用した多層異種基板接合技術、および ICP-RIE を使用したマイクロスリット形成技術を開発した。</p> <p>以上のように目標を達成した。</p>
<p>微小リアクタ内での微粒子攪拌等のハンドリング技術の開発</p> <p>(抽出反応を加速する超音波攪拌機構と制御用マイクロバルブの開発)</p>	<p>微小リアクタ内での抽出反応を加速するための超音波を用いた微粒子攪拌機能の可能性を検証する。</p> <p>(以下次ページ)</p>	<p>超音波攪拌機構</p> <p>超音波を用いた固液抽出反応速度の加速現象は、僅かながら、マクロな抽出装置を用いた研究例があるが、定量的な研究例が無い全く新規な研究である。また、微小領域中の微粒子の攪拌現象は未知数な部分が多く、超音波の波長によっては、不必要なキャピテーションを生じたり、微粒子の破壊を生じることがある。そこで、このような現象を生じない超音波攪拌機能の検証を目標とした。</p> <p>(以下次ページ)</p>	<p>超音波攪拌機構</p> <p>音響流現象を攪拌の駆動力に用いることを想定し音響流に関する検討を実施した。その結果、最小 1mm の振動子による音響流の発生を確認するとともに、音場強度分布、音響流速の駆動周波数依存性などの基礎データを取得し、マイクロ化に向けた課題を抽出した。</p> <p>以上のように目標を達成した。</p> <p>(以下次ページ)</p>

(続き) 別表 1 1 目標設定と達成状況 オリンパス光学工業株式会社

研究項目	研究目標	目標の設定根拠	成果と目標に対する達成度
(続き)	<p>微小流体をハンドリングするためのマイクロバルブの設計を行うとともに、それを実現するための加工技術を開発する。</p>	<p>マイクロバルブ 微量な流体や微粒子のマイクロリアクタへの導入には、これを制御するためのバルブの小型化が必要である。そこで、小型なバルブを実現するための加工技術開発を目標とした。</p>	<p>マイクロバルブ 微粒子と溶媒を扱うことから滞留部が無く、電氣的、熱的影響が少ないことが必要である。このため、その駆動方式を空圧駆動型とし、主に、流路の開閉を行うためのメンブレンと流路とメンブレンの付着力を低減するための当接力低減部材より構成されている。この構成を実現するために、メンブレンの薄膜化形成技術、当接力低減部材の選択的薄膜化形成技術などの加工技術を開発した。また、最小流路幅 200 μm、流路深さ 20 μm に対応した空圧駆動型マイクロバルブの試作・評価を実施し、メンブレンへの加圧量と流量との関係を把握し、ON-OFF 動作を確認した。 以上のように目標を達成した。</p>

別表 1 2 成果と実用化の見通し

研究項目	利用される技術成果の概要	実用化への課題	応用製品 / 分野と導入効果、実用化時期
マイクロ抽出デバイスの試作・評価	世界で初めて試作に成功した、ソックスレー抽出や脱水工程に適用可能なマイクロ抽出デバイスに係わる要素技術	<ul style="list-style-type: none"> ・マイクロバルブや攪拌機構などの機能デバイスの一体化 ・超音波攪拌機構の効果も合わせた定量的な抽出効果の検討 ・微量な液体や微粒子のハンドリング技術 ・抽出液の滞留がない縦型デバイスの構造検討 ・重力効果を見捨てるような横型デバイス構造の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・ダイオキシン前処理用の固液抽出、脱水デバイスへの応用 ・生化学分析における前処理用リアクターへの応用（実用化時期：H19年頃）
微小リアクタ、流路の設計・製作技術の開発	<p>マイクロスリットを介してマイクロ化効果を併せた新規な気液熱平衡反応デバイスの設計に係わる高度なマイクロ流体シミュレーション技術</p> <p>上記デバイス実現のために開発した、ICP-RIE を駆使したマイクロスリット形成技術や多層異種基板接合技術等の加工技術</p>	<p>実デバイスデータでの定量的な確認によるシミュレーション技術の向上</p> <p>マイクロバルブや攪拌機構などの機能デバイスを一体化形成するための高度な複合化加工技術の開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑な機能を有するマイクロ流体デバイスの設計、加工への応用
<p>微小リアクタ内の微粒子攪拌等のハンドリング技術の開発</p> <p>（抽出反応を加速する超音波攪拌機構と制御用マイクロバルブの開発）</p>	<p>超音波攪拌機構</p> <p>マイクロ抽出デバイスの抽出効率向上を狙った、微小振動子による縦振動を利用した音響流の発生に係わる要素技術。</p> <p>マイクロバルブ</p> <p>最小流路幅 200 μm、流路深さ 20 μm マイクロ流路に対応した高精度な空圧型マイクロバルブ実現のためのメンブレンの薄膜化形成技術や当接点低減部材の選択的薄膜化形成技術</p>	<p>超音波攪拌機構</p> <ul style="list-style-type: none"> ・微小領域内で音響流を発生させるためのデバイス構造の検討 ・微小な振動子を形成するための新たな加工技術の開発 ・微小振動子とマイクロ流路を一体化形成するための高度な加工技術の開発 <p>マイクロバルブ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・使用目的、使用環境に適応した空圧型マイクロバルブの構造検討、およびそれを実現するための設計、加工技術の開発 ・空圧を制御するための駆動空圧制御用マイクロバルブの開発 	<p>超音波攪拌機構</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ダイオキシン前処理用の固液抽出、脱水デバイスへの応用 ・マイクロ流体デバイスにおけるマイクロビーズ搬送機構 <p>マイクロバルブ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・複雑な機能を有するマイクロ流体システムへの応用（実用化時期：H17年頃）

別表 1 3 目標設定と達成状況 三菱電機株式会社

研究項目	研究目標	目標の設定根拠	成果と目標に対する達成度
高効率能動的熱輸送技術の研究	<ul style="list-style-type: none"> ・ マイクロで高効率な熱輸送が可能な能動的熱輸送技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 液体捕集部をマイクロ化し、フロー型にする場合には、多数のフロー部を冷却する必要が生じる。その際に個別に冷却器を備えるのではなく、各フロー部から熱輸送をし、まとめて冷却する方が効率がよい。なお、マイクロ流路を用いた熱輸送では、薄型化に伴う熱輸送量の低下及び流路抵抗の増大を補うため、強制的な熱輸送が必要である。強制的な熱輸送を行うためには、何らかのポンプシステムが必要になるが、従来の機械式ポンプは大きく、また、可動部が存在するため、信頼性が低下するという問題があった。このような問題を解決するためには、可動部がなく、微小流路で高効率な熱輸送が可能な新たなサーマルポンプシステムによる能動的熱輸送技術が必要になることに基づく。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 薄型で高効率なループ型マイクロ流路を持つサーマルポンプシステムの研究を行い、可動部が不要で、液循環の駆動力に作動流体の蒸気圧の時間変化を利用し、その変動をマイクロ流路上に設けた駆動ヒータの加熱で与えるサーマルポンプシステムの研究を行い、気泡の発生状態及び流路内の冷媒循環の特性評価を通じて、高効率能動的熱輸送の要素技術を確立したので、目標を達成した。
マイクロ冷却デバイスの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 冷却温度 5 度以下、熱輸送路の厚み 1mm 以下のマイクロ冷却デバイスの形成 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ダイオキシンの液体捕集部では、温度を 5 ～ 6 に冷却する必要がある。また、ダイオキシンを検出するためには試料ガスと捕集するための液体との接触面積を大きくすることが必要であるため、広い面積の液体捕集部が必要となる。液体捕集部を小型化、可搬化し、オンライン計測を実現するためには、冷媒流路の厚みを薄くして、積層化する必要がある。このため、1 mm 以下の薄さの冷媒流路が必要であることに基づく。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熱輸送の高性能化を図るために、複数流路にサーマルポンプを配したマイクロ冷却デバイスを試作し、気泡の発生状態及び流路内の冷媒循環、及び冷却特性の評価を行い、目標の冷却温度 5 度以下を実証したので、目標を達成した。 ・ はんだの自己流動性を利用した銅基板同士の封止が可能なことを実証し、熱輸送路の厚み 1mm 以下にできることを実証したので、目標を達成した。

別表 1 4 成果と実用化の見通し 三菱電機株式会社

研究項目	利用される技術成果の概要	実用化への課題	応用製品 / 分野と導入効果, 実用化時期
高効率能動的熱輸送技術の研究	<ul style="list-style-type: none"> ・ 可動部がなく, 微小流路で高効率な熱輸送が可能な新たなサーマルポンプシステム ・ サーマルポンプシステムは, 他のマイクロポンプの既存事例と比較しても, 最大流量 / 駆動部体積比が大きい. 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 液体輸送用のポンプに使用するための, ヒータの材質・形状, 弁の形状の検討 ・ サーマルポンプシステムのさらなる高効率化 ・ 低コスト量産化技術の開発 ・ 信頼性の向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ダイオキシン液体捕集部 ・ マイクロ冷却デバイスの冷媒循環用マイクロポンプ ・ マイクロ流体システムや生化学用システムの液体輸送用のマイクロポンプ
マイクロ冷却デバイスの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熱輸送路の厚み 1mm 以下のマイクロ冷却デバイス. 	<ul style="list-style-type: none"> ・ マイクロ冷却デバイスにおけるマイクロ流路の密度向上. ・ サーマルポンプシステムのさらなる高効率化 ・ 低コスト量産化技術の開発 ・ 信頼性の向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ダイオキシン液体捕集部 ・ マイクロ流体システムや生化学用システムの冷却デバイス ・ 発熱密度の高い I C の冷却 ・ 宇宙用機器の冷却

別表 1 5 目標設定と達成状況 住友電気工業株式会社

研究項目	研究目標	目標の設定根拠	成果と目標に対する達成度
光による温度測定技術の開発	<p>光を用いた温度測定技術を開発し、評価を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> 測定スポットサイズ 100 μm 以下 	<ul style="list-style-type: none"> マイクロ化の効果を最大限活かすには、システムの制御が必要になる。そのため、流路の温度分布をモニタリングできるデバイスが必要。 温度測定方法としては抵抗温度計を用いる方法もあるが、液体を加熱し影響を与えるため不適切。外乱を与えない光による測定方法を選んだ。 測定スポットサイズは、本プロジェクトで製作されるマイクロ流路の代表的サイズを想定し設定。 	<p>光を用いた温度測定法として、非接触式の蛍光式温度計を応用し、適切な光学系を構築して、マイクロ流体システムに適用可能な微小スポットでの温度測定を実現した。</p> <p>実現した仕様は、下記の通りで測定スポットサイズは、初期目標をほぼ満足した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 測定スポットサイズ：120 × 150 μm 測定範囲：0 ~ 80 精度：2 応答速度：250 ms
多点測定技術の開発	<p>上記技術で温度分布を測定するために光スイッチを用いた多点測定技術を開発し、機能の有効性を評価する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 幅 1mm 以下 スイッチング速度 5ms 以下 	<p>光による温度測定方法で分布を測定するには、光を照射する位置を、高速で切り替える必要があるため、光スイッチの開発が必要となった。</p> <ul style="list-style-type: none"> 測定する位置分解能として、十分な狭ピッチとした。 温度測定デバイスの時定数を考え、できるだけ早いスイッチング速度を目標とした。 	<p>温度計測の精度を高めるためには十分な光量が必要で、太い光ファイバに適用可能とする必要がある。そこで、大きなミラーを大きなストロークで動かす必要があり、新規な光スイッチを開発した。具体的には、下記の仕様を満たす光スイッチを実現し、目標を達成した。</p> <ul style="list-style-type: none"> スイッチ単体の寸法：幅 0.8 mm スイッチング速度：1.3 ms ミラーでの反射ロス：1.9 dB

別表 1 6 成果と実用化の見通し 住友電気工業株式会社

研究項目	利用される技術成果の概要	実用化への課題	応用製品 / 分野と導入効果、実用化時期
光による温度測定技術の開発	<p>マイクロ集光光学系の設計・製作技術</p> <p>5 mm以下の寸法内に、複数の集光点を有する集光光学系を構築した。このような光学系は例がない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ マイクロな光学部品の形状精度向上 ・ マイクロな光学部品のアセンブリ精度向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ダイオキシン前処理用システムで用いる温度分布測定デバイス、流速測定デバイス（制御用、モニタリング用） ・ その他のマイクロ流体システムで用いる温度分布測定デバイス、流速測定デバイス（制御用、モニタリング用）
多点測定技術の開発	<p>マイクロ光スイッチ技術</p> <p>低電圧で大ストロークを発生させるアクチュエータ（14 Vで140 μm）と、X線リソグラフィによる反射口の低いミラー（1.9 dB@ = 650 nm）を組み合わせた、新規な光スイッチを実現した。250 μm以下の狭ピッチ化を世界で初めて実現。またアクチュエータをめっきで製作することで、温度特性を向上。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ プロセス安定性の向上 ・ アクチュエータの特性安定化 ・ 耐久性試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各種光計測システムの、測定位置セクタ（H16年頃） ・ 通信用光スイッチ（H16年頃）

別表 17 目標設定と結果達成状況 株式会社デンソー

研究項目	研究目標	目標の設定根拠	成果と目標に対する達成度
<p>流路加工の要素技術研究</p>	<ul style="list-style-type: none"> 溝幅数 μm ~ 100 μm、深さ 50 ~ 150 μm の溝形で幅方向の誤差 +0.2 μm 以下(幅 10 μm の流路で誤差 +2%以内を達成する) 平滑な加工表面を実現する 	<p>従来技術の 1/10 の向上を狙う</p> <p>均一で乱れのない流れを実現する</p>	<ul style="list-style-type: none"> 幅 10 μm , 深さ 50 μm の ICP 流路加工において、従来 2.6 μm (26%相当)の溝幅の拡がりがあったが、「Dual sidewall protection layer process」によりほぼ「ゼロ」とし、目標を満足した。 <p>本成果は電気学会 E 準部門総合研究会(H14.11)で発表予定</p> <ul style="list-style-type: none"> 流路加工時に生じる側壁の荒れが従来は Ra にして 21 ~ 87nm あったが、水素アニールの最適化により Ra で 2.6 ~ 6.5nm と従来比約 10 倍の平滑な面を実現し目標を満足した。
<p>システム・デバイス化技術の検討</p>	<ul style="list-style-type: none"> 流路間のデッドボリウムの低減、及び嵌め合いのがたつき防止の検討を行う 接合面の表面処理(酸化膜形成など)による漏れのない無嵌め合い形状及び接合に関する検討も行う。 シリカ多孔質の機能性薄膜による、ダイオキシンの選択吸着の可能性について検討する。 	<p>接続部のずれによる流体の移送乱れを低減する</p> <p>異物の噛み込みなどでの漏れを防止する</p> <p>将来のマイクロ流路表面でのダイオキシンと溶媒との分離・濃縮を想定する</p>	<ul style="list-style-type: none"> 1mm のコネクタを作製し嵌め合わせを行うとともに、流量影響評価チップを試作し、嵌め合わせ可能で流量に影響を与えないクリアランスが 5%であることを明らかにした。 嵌め合わせ時の欠けを防ぐため、水素アニールによりコネクタエッジをラウンドさせる方法を提案し、ラウンド化を確認した。 <p>コネクタ形成に必要な要件を検討し目標を満足した。この結果をコネクタのトータル設計、工程に反映させることが次ステップとなる。</p> <ul style="list-style-type: none"> 孔径 2nm シリカメソ多孔体のダイオキシン吸着実験を実施し、シリカゲルに比べ吸着性は低いことを明らかにした。 <p>今後として孔径の最適化、気相での吸着性を検討することが有効と考える。</p>

別表 1 8 成果と実用化の見通し 株式会社デンソー

研究項目	利用される技術成果の概要	実用化への課題	応用製品 / 分野と導入効果、実用化時期
<p>流路加工の要素 技術研究</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・世界最高水準の狭ギャップ高アスペクト比加工技術 (幅 1.05 μm、深さ 62.6 μm) ・世界初の ICP 加工側壁の平滑化技術 	<p>今回の加工材料はシリコンで行った。シリコンがダメージを受ける流体を取り扱う場合は流路の表面保護が必要になると考えられる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・発熱デバイス冷却用のマイクロ流体チップ効果 ; 小型化、低コスト化、高効率化 ・半導体センサ、アクチュエータ全般効果 ; 小型化、低コスト化、高精度化
<p>システム・デバイス化技術の検討</p>	<p>他に先駆けて明らかにしたマイクロコネクタ部の実用的なクリアランス (5 %)</p>	<p>信頼性の高い接合技術の開発 コネクタの嵌め合わせ時の位置合わせ技術</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・発熱デバイス冷却用のマイクロ流体チップ効果 ; 小型化、低コスト化