

4.2.2(d) Cu の精製

回収した Cu 塩酸溶液を蒸発乾固させる。移送ラインを高純度水で洗浄し中性にした後、高純度水を加え、再び蒸発乾固して塩酸を完全に除く。最後に、200 mM グリシン溶液を Cu-Gly 容器に加え、放射性 Cu-Gly 溶液として得る。

4.2.3 放射性 Cu 精製装置における問題点

現在の放射性 Cu 精製装置は、放射性物質を扱うため、鉛で遮蔽された場所に備え付けられ、装置内の様子をモニターで確認しながら遠隔操作にて液の移送が行われている。しかし、その操作は煩雑であり熟練した技術が必要である。また、装置は備え付けのため、故障したときの修理作業に時間と手間がかかってしまう。さらに、装置に用いられるパーツはディスポ製品ではないため、装置の使用前後に移送ラインの洗浄を行う必要があり、その処理に時間がかかる。その上、パーツの交換時期がよみにくく、パーツの劣化に気づかず精製を行い、精製が失敗に終わる可能性がある。毎回安定した精製を行うためには、新品のパーツを用いることが望ましく、ディスポ製品には毎回新しいパーツを使用できるといった利点がある。

これとは別に、放射性物質を含むディスクを Target 容器に入れる作業は手作業で行われているため、被ばくの問題が心配されている。被ばくを軽減させるためにすばやい作業が要求されるが、ガラス製の容器を使用しているため、ガラスが割れないように細心の注意を払う必要がある。また、反応溶液の全量をカラムに移送するためにチューブをディスクの下側に入れなければならない。また、Target 容器では溶液が蒸発しないように容器内を密封にする必要がある。これらのことから、ディスクを挿入する作業はすばやく行うことが難しいものとなっている。

そこで、ディスポ製品を使用でき、ディスクの挿入などの作業がすばやく容易に行え、液の移送を自動制御できる装置の設計ならびに操作方法を検討した。

4.3 HSWB-02RG 制御による放射性 Cu 精製装置の基本設計

4.3.1 溶液と反応容器の設置場所

システム設計案を Fig.32 に示す。本装置は、図の左から右に液の移送を行うため、カラムの左側を溶液、右側に反応容器を設置した。溶液と反応容器を置く順序は、最初に使用するものをカラムの隣に置き、使用する順番にカラムから遠ざかるようにした。よって、溶液は左から、高純度水、0.1 規定の塩酸、6 規定の塩酸の順に並べ、反応容器は左から、Target 容器、Ni 容器、Cu-Gly 容器の順になる。この方法でのグリシン溶液の位置は、高純度水の左側になるが、Cu-Gly 容器までの移送距離が遠くなるため、Cu-Gly 容器の右側に設置することとした。また、グリシン溶液は、あらかじめ使用する量をシリンジ内に入れておき、直接シリンジで Cu-Gly 容器に移送することとした。これによりグリシン溶液の濃度が薄まることなく、Cu-Gly 容器に移送することができた。

4.3.2 有害ガスに対する対策

塩酸を加熱すると塩化水素ガス等が発生するため、有害ガスを別の容器に回収する必要がある。そこで、反応容器内のガスを真空ポンプで減圧し回収することとした。真空ポンプによる反応容器の減圧制御は、各反応容器と真空ポンプの間にバルブモータを挿入し、このバルブモータにより行った。また、マイコンボードとデジタル入出力装置および各モータが、蒸発した塩酸でさびてしまい、パーツの劣化が早まることが考えられる。そこで、液の移送を行うメイン部と加熱ヒーターを使用するヒーター部に装置を分け、被害が最小限になるようにした。

4.3.3 Ni 塩酸溶液の再処理

Ni 塩酸溶液中にある未使用の Ni は、蒸発乾固することにより電着用のメッキ液の調製に再利用できるため、Ni 容器にヒーターを設置し自動で再処理を行えるようにした。

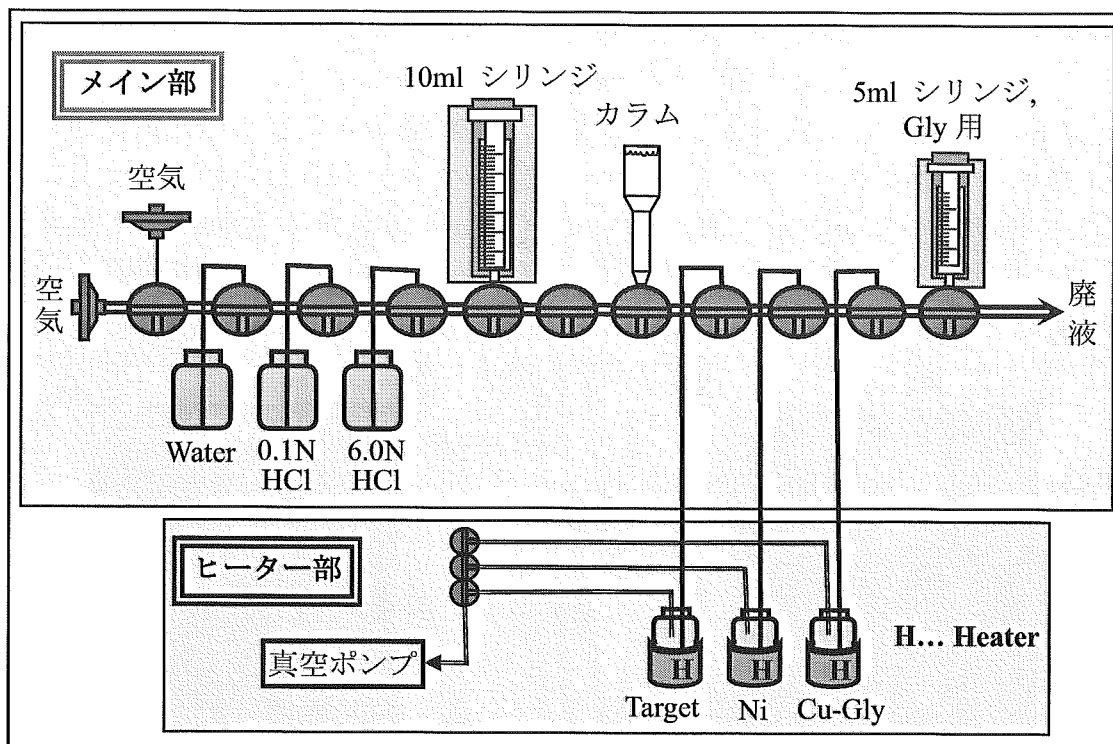
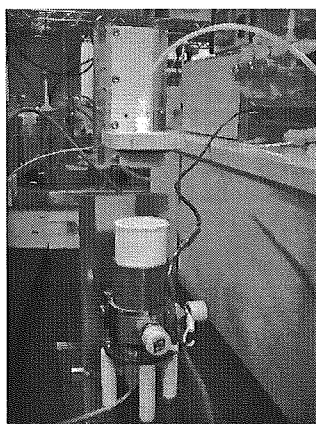


Fig.32. システム設計案

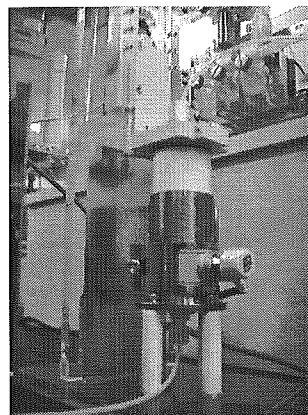
4.3.4 Target 容器用ふた自動開閉装置の製作

テフロン (PTFE, 四フッ化エチレン樹脂) は、耐熱温度が 260 度と高く、ほとんどの薬品に対して安定で、耐熱性、耐薬品性、電気的性質にすぐれたプラスチックである。また、削切加工も容易に行うことができるため、現在使用しているガラス容器の代わりにテフロン試験管を用いることとした。ヒーターは試験管全体に熱が伝わるようバンドヒーターを用いることとした。バンドヒーターの熱を試験管に効率よく伝えるために、試験管のサイズに合う銅筒をアルサス工業社と共同研究で製作し、バンドヒーターと試験管の間に挿入した。ディスクの上からの液移送は、試験管内にディスクを投入するため、ディスクの下にある共存液体を回収することが非常に難しい。そこで、試験管の底に穴を開け、試験管の下部から液の移送を行うこととした。これにより、共存液体の全量をカラムに移送することができ、効率よく回収することができた。また、容器内を密閉にするため、試験管のふたを製作した。ふたは、シリンジモータ

に取り付け、シリンジモータの上下動作により、自動で試験管にふたを行えるようにした。ここでは、試験管内を真空ポンプで減圧するため、ふたに穴をあけ、試験管上部から減圧できるようにした。試験管とふたにあけた穴とチューブを接続する間にコネクターをかませ、液漏れと気体漏れを防いだ。そして、これらをひとつにまとめるための台を製作し、試験管に自動でふたをする Target 容器用ふた自動開閉装置を完成させた。この装置は、京藤樹脂技研社と共同研究で製作した。Fig.33 に装置の全体図を示す。



ふたを開けた状態



ふたを閉めた状態

Fig.33. Target 容器用ふた自動開閉装置の全体図

4.3.5 デジタル入出力装置の製作

分取精製装置に用いたデジタル入出力装置は、デジタル入力とデジタル出力が別々の基盤上にあったため、装置を置く場所の確保が必要であった。そこで、デジタル入力とデジタル出力をひとつの基盤上に組み込み、省スペースで使用できるデジタル入出力装置 (Fig.34) をカーネル社と共同研究で製作した。

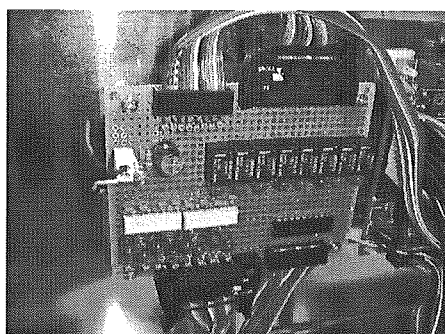


Fig.34. デジタル入出力装置

4.3.6 Ni と Cu の分離能力向上

Ni と Cu を効率よく分離するためには、塩酸の濃度が非常に重要となってくる。よって、6 規定と 0.1 規定の塩酸をカラムに移送する前に、移送ラインを各溶液で洗浄することとした。また、樹脂による Ni と Cu の分離能力を上げるため、共存液体をカラムに移送する前に、カラム中を 6 規定の塩酸でよく洗浄することとした。一方、高純度水を Cu-Gly 容器に移送する際も、移送ラインを高純度水で洗浄した。

Cu の分離回収の方法は、現在使用されている放射性 Cu 精製装置の分離回収と同様の方法を用いた。

4.4 HSWB-02RG 制御による放射性 Cu 精製装置の構成

シリンジモータは 3 個（メイン部 2 個、ヒーター部 1 個）、バルブモータは 14 個（メイン部 10 個 1 個未使用、外部装置部 3 個）使用し、温度調節器および Ni 容器と Cu-Gly 容器とそれらに使用するヒーターは、今まで使用していたものを用いた。デジタル出力には加熱器 3 点（Target 容器用、Ni-64 容器用、Cu-Gly 容器用）とした。Ni と Cu の分離精製に必要なイオン交換樹脂カラムは BIO-RAD 社の poly prep Columns の AG1-X8 を用いた。液の移送用チューブと減圧用チューブはディスポ製品の使用が困難であったため、テフロンチューブ

ブ（外径 3.0mm，内径 2.0mm）を用いた。装置の概略図を Fig.35 に示す。

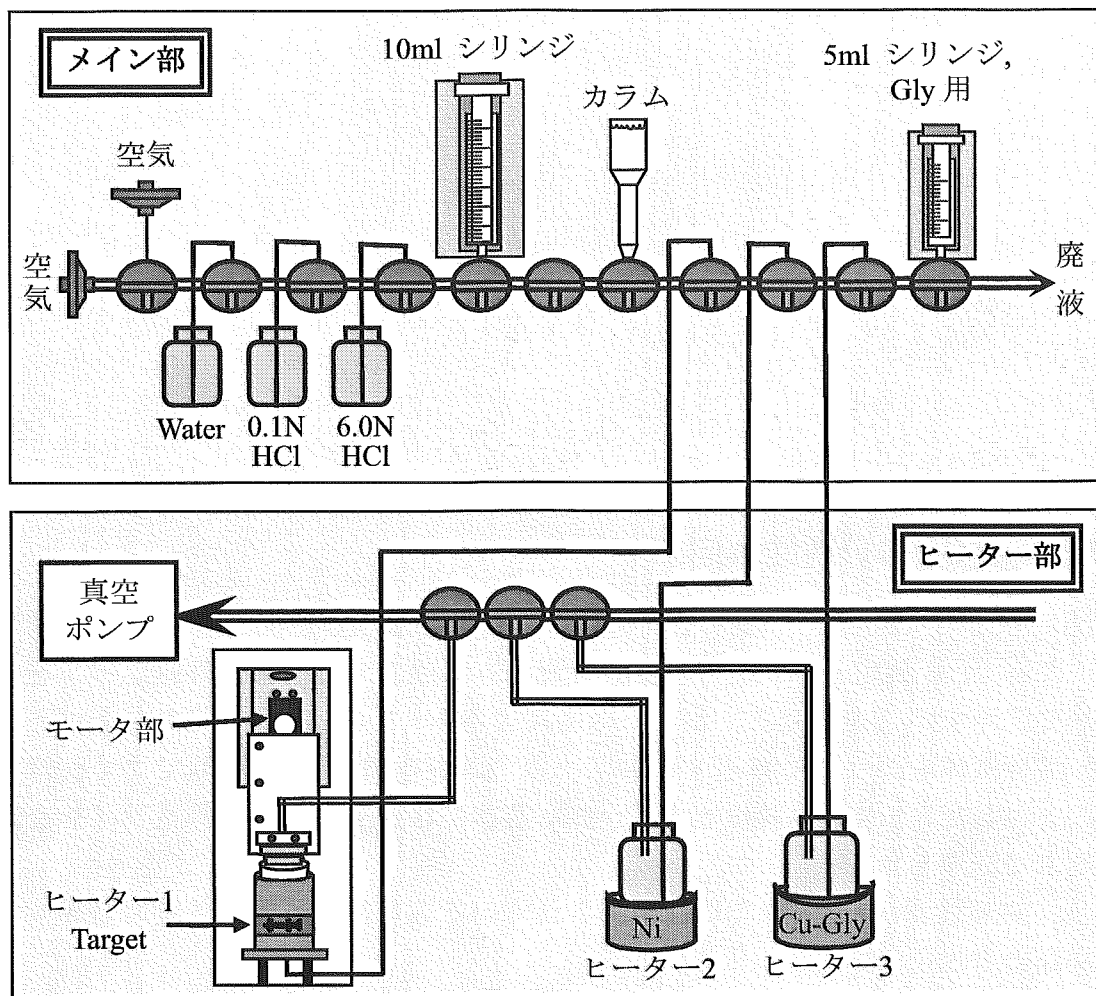


Fig.35. 放射性 Cu 精製装置の概略図

バルブの停止位置は、前述の分取精製装置に用いたポジションと同様にした (Fig.36, 本文 p.18 参照)。

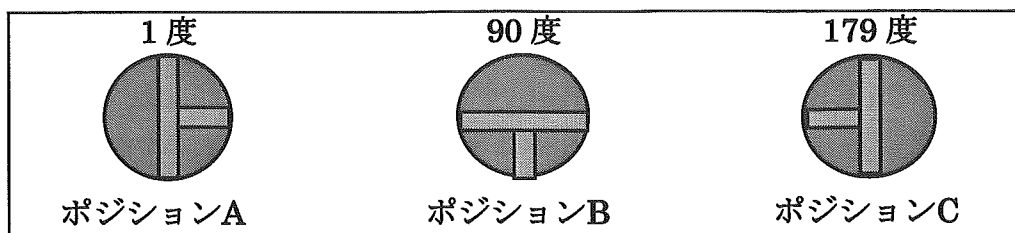


Fig.36. バルブモータの静止位置状態

放射性 Cu 精製装置の初期状態（ホームポジション）は、メイン部では 10mL シリンジを最下位まで下げ、グリシン用の 5mL シリンジをグリシンの量より少し多い位置に設定し、すべてのバルブをポジション B の位置とし、ヒーター部はふた部分を最上部に上げ、すべてのバルブをポジション B の位置とした (Fig.37)。

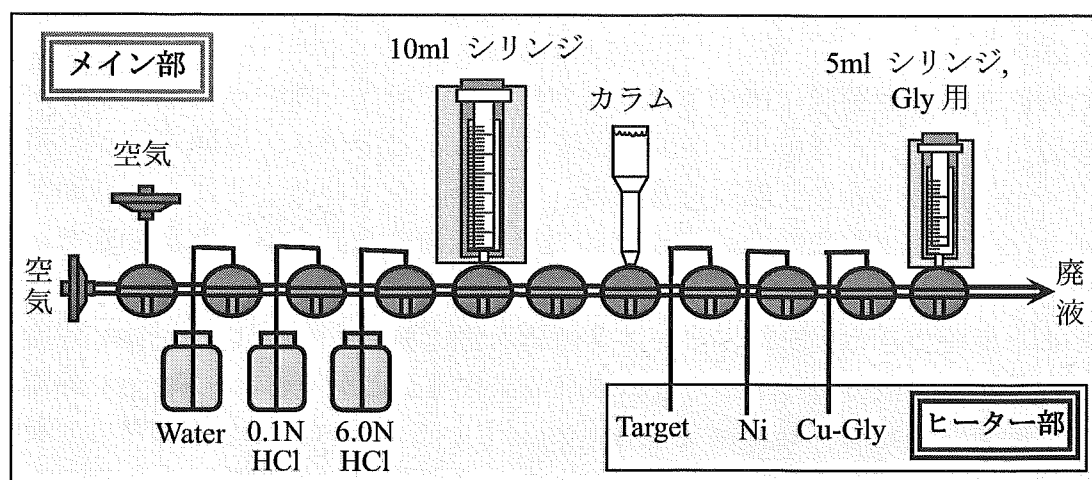


Fig.37. 放射性 Cu 精製装置の初期状態

システムの全体図を Fig.38 に示す。

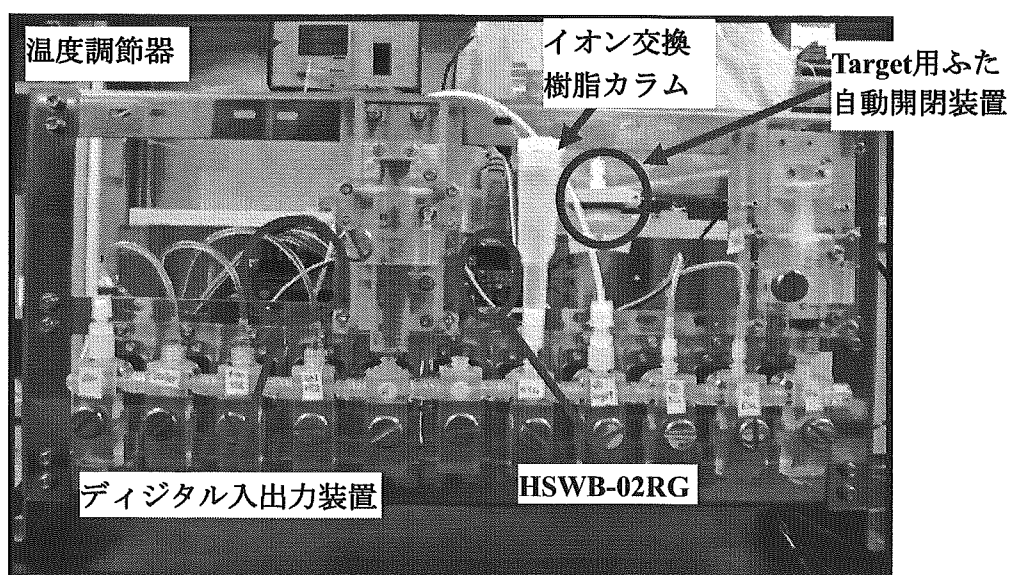


Fig.38. 放射性 Cu 精製装置の全体図

4.5 結果と考察

現在高エネルギー医学研究センターで使用されている放射性 Cu 精製装置は、装置を使用する上でいくつかの問題点があった。これらの問題点を解決するため、新たに、放射性薬剤製造装置の開発を目的に製作したパーツとこれらの制御を行うマイコンボード (HSWB-02RG) による自動放射性 Cu 精製装置の開発を試みた。

放射性薬剤製造装置の開発を目的に製作したパーツを用いることにより、液の移送ラインのパーツにディスク製品を用いることができ、毎回安定した精製が行えると期待できた。煩雑な操作は、マイコンを用いることにより自動化が可能となり、全自動で液の移送を制御できる装置を設計することができた。これにより、従来の放射性 Cu 精製装置よりもコンパクトでメンテナンスが容易に行えると期待できる。また、ディスクの挿入時における問題は、Target 容器用ふた自動開閉装置を製作することにより解決することができた。Target 容器用ふた自動開閉装置は、Target 容器を使用しているガラス容器からテフロン製の試験管に変更し、改造したシリンジモータにより試験管に自動でふたをできるように設計した。これにより、従来あったディスク挿入時にガラスが割れる心配を解消し、かつ自動で試験管にふたをできるため、挿入作業を容易に行うことができ、作業者の被ばくを軽減できると考えられた。以上より、放射性 Cu 精製装置に必要な技術要素が完成した。残念ながら、本論文では、各技術要素を構築した時点で時間がなくなり、プログラムを完成させることができず、システム全体の評価ができなかった。

今後の課題として、実際に溶液を反応容器の中に入れて、ヒーターの性能評価を行う必要がある。さらに、それらを制御するプログラム等を完成させ、システム全体の評価を行うことが必要と考えられる。

第5章 結語

本研究では、人型ロボットに使用されているサーボモータおよびマイコンボードを利用して、市販されている PET 薬剤自動合成装置の一部をモデルに安価で汎用性が高い薬剤製造装置の開発を行った。

システムの設計では、数種類の制御ボードの中から最大 32 個ものサーボモータを制御可能でかつ動作プログラムも容易に作成でき、さらにコストパフォーマンスにも優れている姫路ソフトウェア社のマイコンボード HSWB-02RG を選択した。このボードを用いることにより、装置に必要な不可欠な要素である自動化と遠隔操作が可能となった。制御可能なサーボモータ部には、液の移送を制御するシリンジやバルブが取り付けられるユニットを取り付けた。なお、本装置の最終目標は薬剤製造装置であるため、これらのユニットは滅菌済みのディスプレイ製品に対応させた。

実際の液の移送制御における問題点、特性などを明らかにするため、液の流れがシンプルである分取精製装置を作成した。反応液を HPLC のサンプルループへ移送する場合、空気の混入やシリンジが水圧に負けてしまうなどいくつかの問題点が発生したが改良、考案を行い解決することができた。

得られた実験結果をもとに、より複雑な構造である放射性 Cu 精製装置を設計し、実証を試みた。その結果、従来の放射性 Cu 精製装置よりもコンパクトでメンテナンスが容易に行える自動化装置を製作することに成功した。これにより従来の装置で問題となっていた作業者の被ばくの軽減ができると予想される。

以上のことから、マイコンボード HSWB-02RG で制御できる装置は、自動合成装置として十分な機能を有していることが確認された。本研究で製作したパーツは使用用途にあわせてレイアウトを変更することが可能であるため、薬剤製造に必要な様々なケースに対応できると考えられた。この装置が実用化されれば、PET 薬剤だけでなく、多くの新しい薬剤の開発・製造が可能となるため、医療の発展に大いに貢献できるものと考えられる。

参考資料

1. 分取精製装置に用いた装置と部品の仕様

1.1 デジタル入力・出力装置

デジタル入力・出力装置は、カーネル社と共同研究で製作した。Fig.1 にデジタル出力、Fig.2 にデジタル入力の全体図を示す。

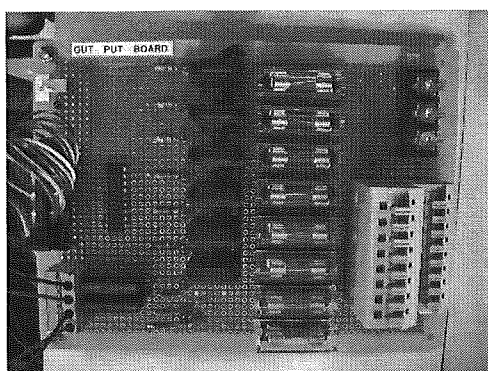


Fig.1. デジタル出力

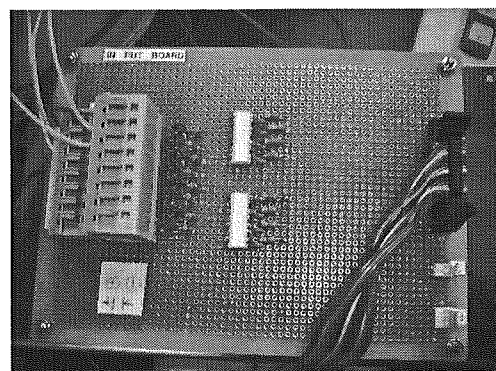


Fig.2. デジタル入力

1.1(a) 出力に用いた光絶縁素子

出力に用いた光絶縁素子は、MATSUSHITA 社製の AQZ202 を用いた。

動作原理としては、入力側発光素子(LED)の光を受光側フォトダイオードアレイが受けて電圧変換を行う。また、この電圧がゲート電圧となって、MOS FET を駆動し、電圧を光に変換して信号伝送するため、入・出力間を電氣的に絶縁させることが可能である。Fig.3 に AQZ202 の等価回路図、Table.1 に絶対最大定格(測定条件 周囲温度:25°C)、Table.2 に性能概要(測定条件 周囲温度:25°C)を示す。

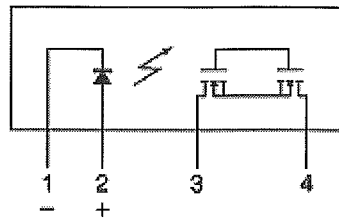


Fig.3. AQZ202 の等価回路図

Table.1. AQZ202 の絶対最大定格 (測定条件 周囲温度:25°C)

	項目	記号	絶対最大定格	備考
入力側	LED 電流	I_F	50mA	
	LED 逆電圧	V_R	5V	
	せん頭順電流	I_{FP}	1A	f=100Hz、デューティ比=0.1%
	許容損失	P_{in}	75mW	
出力側	負荷電圧	V_L	60V	
	(ピーク AC)			
	連続負荷電流	I_L	3.0A	
	(ピーク AC)			
	ピーク負荷電流	I_{peak}	9.0A	100ms(1shot), $V_L=DC$
出力損失	P_{out}	1.6W		
	全許容損失	P_T	1.6W	
	耐電圧	V_{iso}	2,500V AC	
	使用周囲温度	T_{opr}	- 40°C~+85°C	低温においては氷結しないこと

Table.2. AQZ202 の性能概要 (測定条件 周囲温度:25°C)

項目		記号	性能概要	測定条件		
入力	動作 LED 電流	平均	1.0mA	$I_L = 100\text{mA}$		
		最大	3.0mA	$V_L = 10\text{V}$		
	復帰 LED 電流	最小	0.4mA	$I_L = 100\text{mA}$		
		平均	0.9mA	$V_L = 10\text{V}$		
	LED 電圧降下	平均	V_F	1.25V($I_F = 10\text{mA}$ の時、1.16V)	$I_F = 50\text{mA}$	
		最大		1.5V		
出力	オン抵抗	平均	R_{on}	0.11Ω	$I_F = 10\text{mA}$	
		最大		0.18Ω	$I_L = \text{Max.}$	
	開路時漏れ電流	最大	I_{Leak}	10μA	通電時間 1 秒以内	$I_F = 0$
					$V_L = \text{Max.}$	
伝達特性	動作時間	平均	T_{on}	2.46ms	$I_F = 10\text{mA}$	
		最大		5.0ms	$I_L = 100\text{mA}$	
		平均		5.64ms	$V_L = 10\text{V}$	
		最大		10.0ms	$I_F = 5\text{mA}$	
	復帰時間	平均	T_{off}	0.22ms	$I_L = 100\text{mA}$	
		最大		3.0ms	$I_F = 5\text{mA or } 10\text{mA}$	
	入出力端子間容量	平均	C_{iso}	0.8pF	$V_L = 10\text{V}$	
		最大		1.5pF	$f = 1\text{MHz}$	
	入出力間絶縁抵抗	最小	R_{iso}	1,000MΩ	$V_B = 0$	
	最大開閉頻度	最大	-	0.5 回/s	DC500V	$I_F = 10\text{mA},$ duty=50%
$I_L = \text{Max.}, V_L = \text{Max.}$						
耐久振動	最小	—	10~55Hz、複振幅 3mm	上下・左右・前後 各方向 2 時間		
耐久衝撃	最小	—	4,900m/s ² ,1ms	上下・左右・前後 各方向 3 回		

1.1(b) 入力に用いた光絶縁素子

入力に用いた光絶縁素子は、TOSHIBA 社製の TLP521-4 を用いた。

動作原理としては、入力側発光素子(LED)の光を受光側シリコンフォトトランジスタが受けて電圧変換を行う。Fig.4 に TLP521-4 の等価回路図、Table.3 に絶対最大定格(測定条件 周囲温度:25°C)を示す。

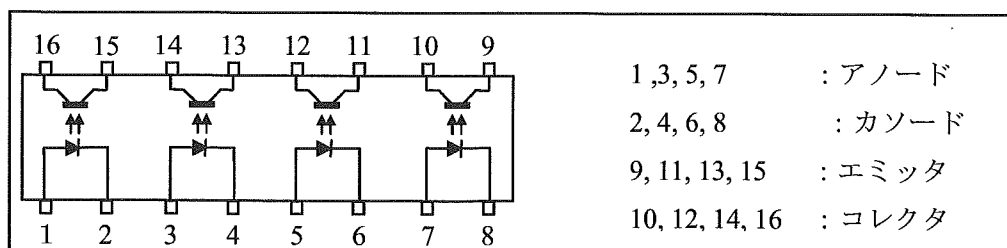


Fig.4. TLP521-4 の等価回路図

Table.3. TLP521-4 の絶対最大定格 (測定条件 周囲温度: 25°C)

項目		記号	絶対最大定格	単位
受光側	直流順電流	I_F	50	mA
	直流順電流低減率	$\Delta I_F / ^\circ\text{C}$	$-0.5(T_a \geq 25^\circ\text{C})$	mA / °C
	パルス順電流(注 2)	I_{FP}	1	A
	直流逆電圧	V_R	5	V
発光側	コレクタ・エミッタ間電圧	V_{CEO}	55	V
	エミッタ・コレクタ間電圧	V_{ECO}	7	V
	コレクタ電流	I_C	50	mA
	コレクタ損失(1 回路)	P_C	100	mW
	コレクタ損失低減率($T_a=25^\circ\text{C}$ 以上)	$\Delta P_C / ^\circ\text{C}$	-1.0	mW / °C
	接合部温度	T_j	50	°C
動作温度		T_{opr}	-55~100	°C
保存温度		T_{stg}	-55~125	°C
はんだ付け温度(10 秒)(注 4)		T_{sol}	260	°C
許容損失(1 回路)		P_T	150	mW
許容損失低減率 ($T_a = 25^\circ\text{C}$ 以上)(1 回路)		$\Delta P_T / ^\circ\text{C}$	-1.5	mW / °C
絶縁耐圧(注 3)		BV_S	2500	Vrms

1.2 液面センサ

液面センサは、知恵の輪社製の OGW-1001 (チューブ内液切れ検知センサ) を用いた。液面検出用ファイバユニットの原理は、容器中に液がない場合、パイプの屈折率と空気の屈折率の差が大きいため光は容器の内側に反射して受光部へ戻り、容器中に液がある場合、パイプの屈折率と空気の屈折率の差が小さくなるため光はほとんど液中に反射され受光部に戻らないことを利用し、液体の有無の検出を行う (Fig.)。Table.4 に OGW-1001 の仕様書を、Fig.6 に OGW-1001 の入出力回路を示す。

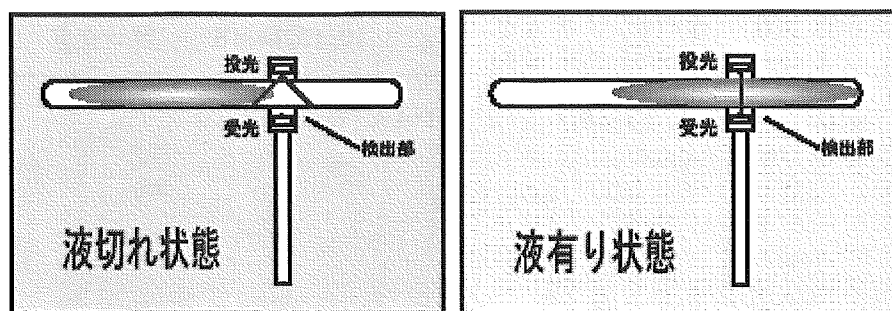


Fig.5 液面の検出方法

Table.4. OGW-1001 の仕様書

型式	OGW-1001
定格電圧	DC12V~24V
消費電力	30mA 以下
応答時間	約 500ms 以下 (対象液体粘度による)
出力形態	NPN オープンコレクタ
	MAX 24V 30mA
使用温度範囲	- 10℃ ~60℃ (検出部)
保存温度範囲	- 20℃ ~60℃ (検出部)
絶縁抵抗	100MΩ 以上 (ケース⇔リード線)
チューブ径	φ3.2 ~φ5 (いずれか1種類)
耐振動	10~55Hz 全振幅 1.5mm
動作位置	内部スリット±1mm 以内
コード長	アンプ - センサ : 50cm, アンプ - 出力 : 1m
材質	本体 : ABS
	ヘッド : PPE
	電線 : PVC

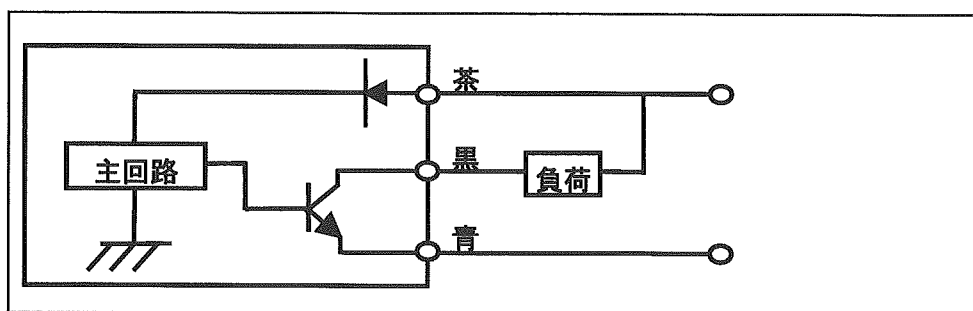


Fig.6. OGW- 1 0 0 1 の入出力回路

1.3 電磁弁バルブ

電磁バルブは、フロン工業社製の F-2167(三方メス型電磁弁)を用いた。

電磁バルブは、電流の ON-OFF によってソレノイドバルブを開閉し、流体の流れの制御を行う。Table.5 に F-2167 の仕様を示す。

Table.5. F-2167 の仕様書

項目	F-2167 三方メス型電磁弁
絶縁	E 種
絶縁抵抗	100MΩ 以上 500V
絶縁耐圧	AC1500V 1 分間
接液部材質	ダイヤフラム→ふっ素ゴム+PTFE
ボディ材質	PTFE
設置	180°Free mount
周囲温度	常温
流体温度	-20℃～80℃Max
消費電力	2.3W
重量	91g
Cv 値	0.023

1.4 サンプルループ用スイッチングバルブ

サンプルループ用スイッチングバルブは、RHEODYNE 社製の EV700-100(6方切替バルブ)を用いた。系内に組み込まれたサンプルループ内に試料溶液を満たし、流路の切り替えを行う。Position A は、試料注入側と廃液側にループがつながっておりサンプルをループに充填させる。Position B はポンプとカラム側にループがつながっており、充填された試料を流路(カラム側)に移送し分離を行う(Fig.7)。Table.6 に EV700-100 の仕様を示す。

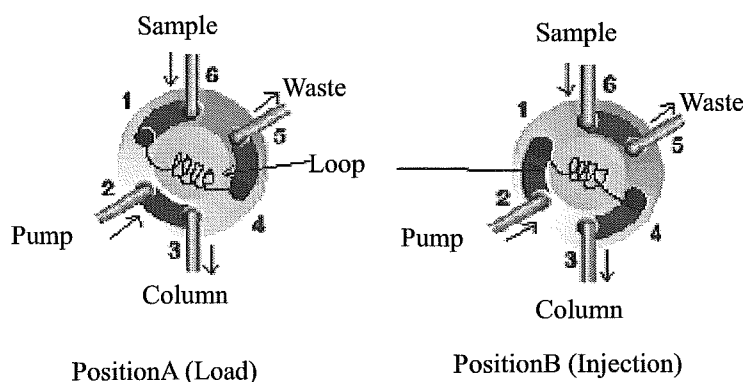


Fig.7. 2-Position, 6-Port

Table.6. EV700-100 の仕様

項目	EV700-100
Liquid Contacts	Stainless steel, PEEK, and alumina ceramic
Port Size	Accepts 10-32 male threaded fittings
Flow Passage Diameters	0.4-mm (.015") and 0.5mm (.018")
Volume in Flow Passages	Stator (includes the stator face assembly)- 0.7 uL/hole,
Rotor Seal	0.3 uL/groove
Maximum Pressure	35 MPa, 345 bar, 5000 psi
Motor	Power train design includes a stepper motor and planetary gearing system
Motor Power Requirements	24-35 VDC at 2.0 amps
Position Sensors	Optoelectric position sensors with encoder wheels

1.5 使用したパーツ

本装置で用いたパーツを以下に示す。滅菌済みで臨床に用いられるものを使用した。

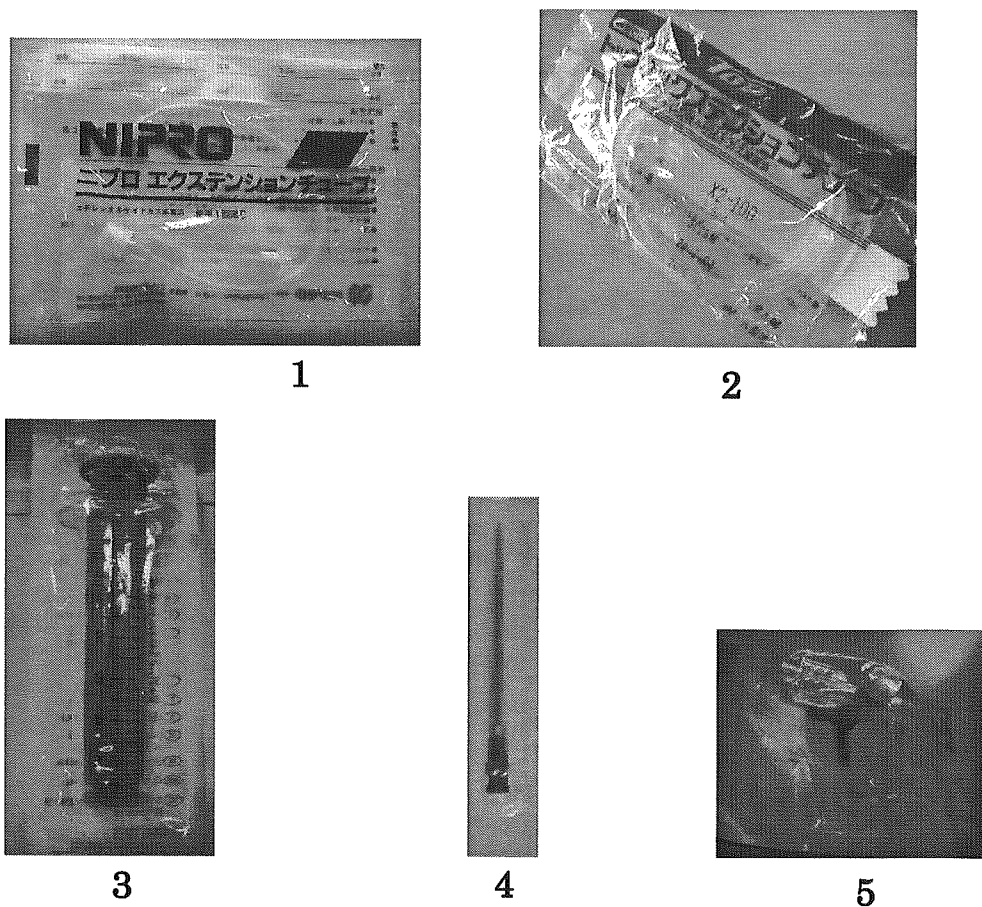


Fig.8. 使用したパーツ

上段 左から 1, ニプロエクステンションチューブ EX2-25MH
2, トップエクステンションチューブ X2-100

下段 左から 3, B BRAUN 社製 シリンジ 10ml
4, テルモカテラン針 22G×70 mm
5, トップ 三方活栓ルプラ R1-FL

2. 放射性 Cu 精製装置に用いた装置と部品の仕様

2.1 デジタル入出力装置

デジタル入出力装置は、カーネル社と共同研究で製作した。Fig.9 にデジタル入出力装置の全体図を示す。コンパクトで、省スペースの装置を実現した。

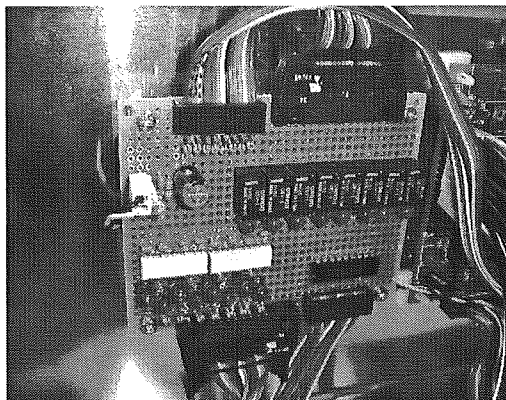


Fig.9. デジタル入出力装置

2.1(a) 出力に用いた光絶縁素子

出力に用いた光絶縁素子は、OMRON 社製の形 G5V-1 を用いた。

Fig.10 に内部接続図、Table.7 に性能、Table.8 に操作コイルの定格、Table.9 に開閉部の定格を示す。

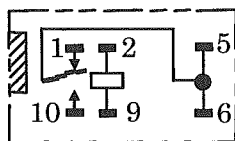


Fig.10. 内部接続図

Table.7. 形 G5V-1 の性能

項目		形 G5V-1 性能
接触抵抗		100mΩ 以下
動作時間		5ms 以下
復帰時間		5ms 以下
絶縁抵抗		1,000MΩ 以上
耐電圧	コイルと接点間	AC1,000V 50/60Hz 1min
	同極接点間	AC400V 50/60Hz 1min
振動	耐久	10~55~10Hz
		片振幅 1.65mm (複振幅 3.3mm)
	誤動作	10~55~10Hz
		片振幅 1.65mm (複振幅 3.3mm)
衝撃	耐久	1,000m/S ²
	誤動作	100m/S ²
耐久性	機械的	500 万回以上 (開閉ひん度 36,000 回/h)
	電氣的	10 万回以上 (定格負荷 開閉ひん度 1,800 回/h)
故障率 P 水準		DC5V 1mA
使用周囲温度		- 40~+70°C (ただし、氷結および結露しないこと)
使用周囲湿度		5~85%RH
質量		約 2g

Table.8. 形 G5V-1 の操作コイルの定格

定格電圧 (V)	接点構成	定格電流 (nA)	コイル抵抗 (Ω)	動作電圧 (V)	復帰電圧 (V)	最大許容電圧 (V)	消費電力 (mW)
DC5V	1c	30	167	80% 以下	10% 以上	200% (at23°C)	約 150

Table.9. 形 G5V-1 の開閉部の定格

項目	開閉部の定格
負荷	抵抗負荷
接点接触機構	クロスバ・シングル接点
接点材質	Au クラッド+Ag
定格負荷	AC125V 0.5A、DC24V 1A
定格通電電流	2A
接点電圧の最大値	AC125V DC60V
接点電流の最大値	1A

2.1(b) 入力に用いた光絶縁素子

入力に用いた光絶縁素子は、TOSHIBA 社製の TLP521-4 で、これは分取精製装置のデジタル入力に用いた光絶縁素子と同じものである。よって、動作原理、絶対最大定格は、分取精製装置のデジタル入出力装置の入力に用いた光絶縁素子についての記載を参照されたい。(参考資料 p.45 参照)

2.2 Target 容器用ふた自動開閉装置

2.2(a) ヒーター

ヒーターは、坂口電熱社製の坂口バンドヒーターを用いた。

バンドヒーターは、絶縁層に高級耐熱マイカ板を使用し、高温耐熱ニッケルクロムリボン線を配線、マイカ板で絶縁後、金属外装板で強力圧縮成型され、電氣的、機械的に堅牢である。坂口バンドヒーターの規格を Table.10 に示す。

Table.10. 坂口バンドヒーターの規格

型式	内径(mm)	巾(mm)	電圧(V)	容量(W)	コード
1 ピース	43	30	200	120	BH4330