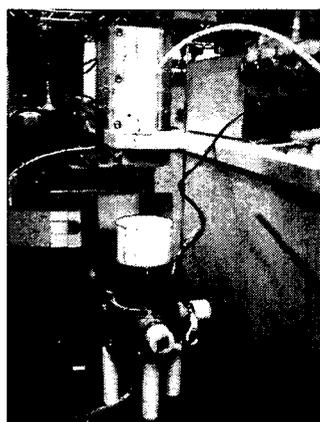
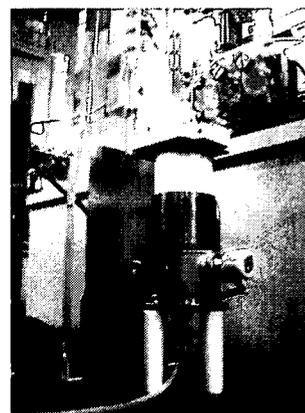


に取り付け、シリンジモータの上下動作により、自動で試験管にふたを行えるようにした。ここでは、試験管内を真空ポンプで減圧するため、ふたに穴をあけ、試験管上部から減圧できるようにした。試験管とふたにあけた穴とチューブを接続する間にコネクターをかませ、液漏れと気体漏れを防いだ。そして、これらをひとつにまとめるための台を製作し、試験管に自動でふたをする Target 容器用ふた自動開閉装置を完成させた。この装置は、京藤樹脂技研社と共同研究で製作した。Fig.33 に装置の全体図を示す。



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。

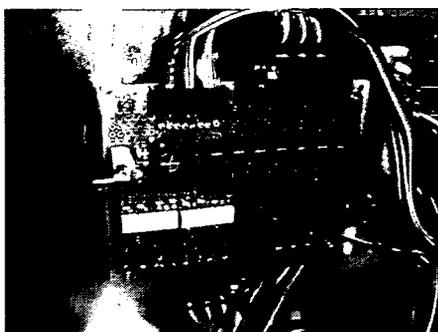


Fig.34. デジタル入出力装置

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

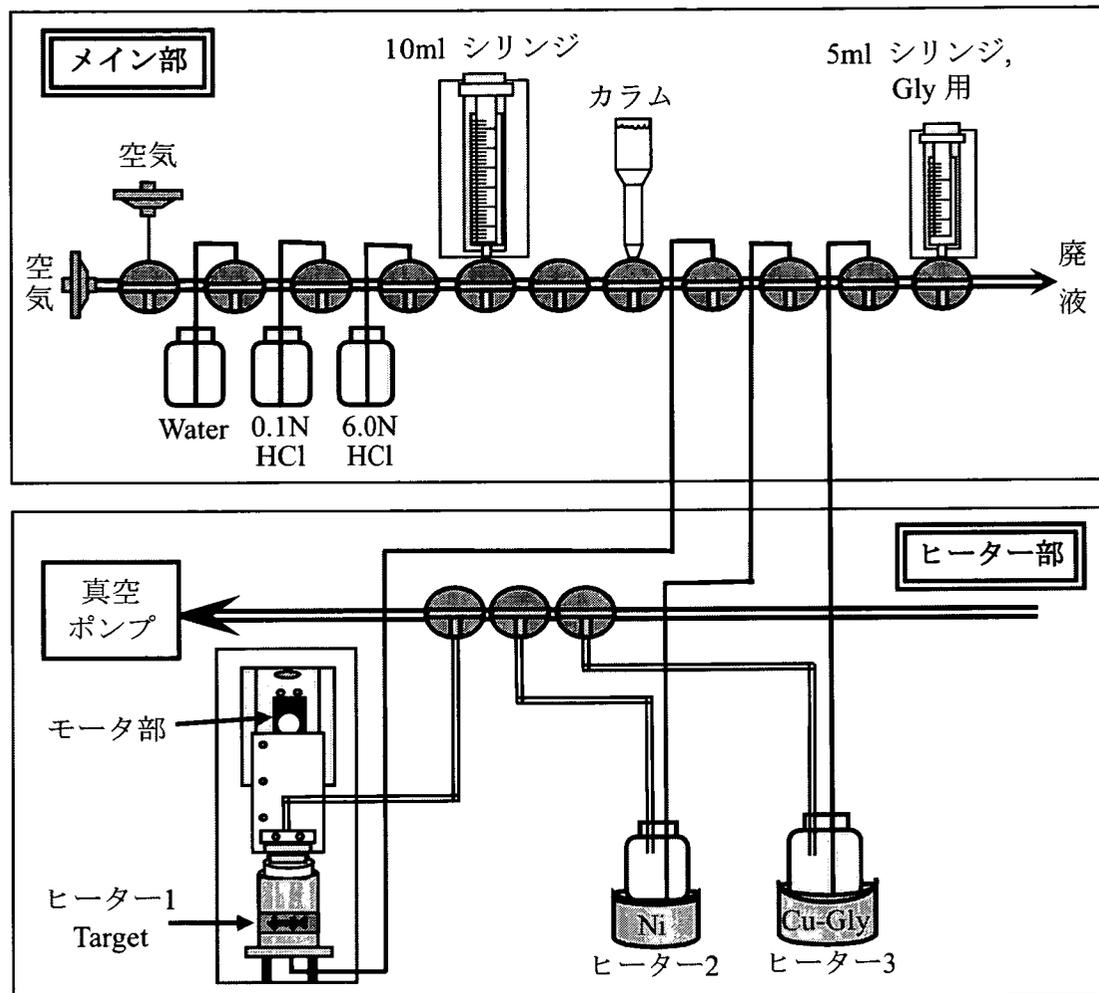


Fig.35. 放射性 Cu 精製装置の概略図

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)。

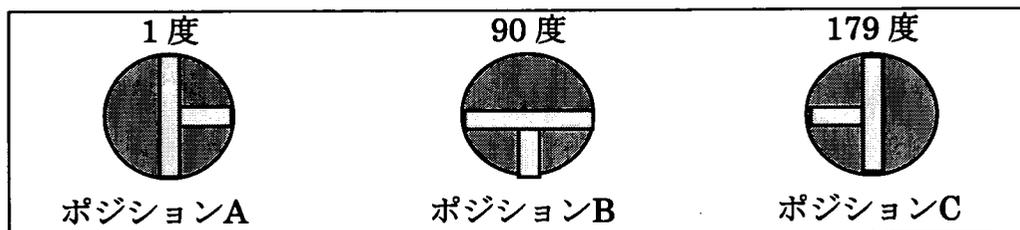


Fig.36. バルブモータの静止位置状態

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）。

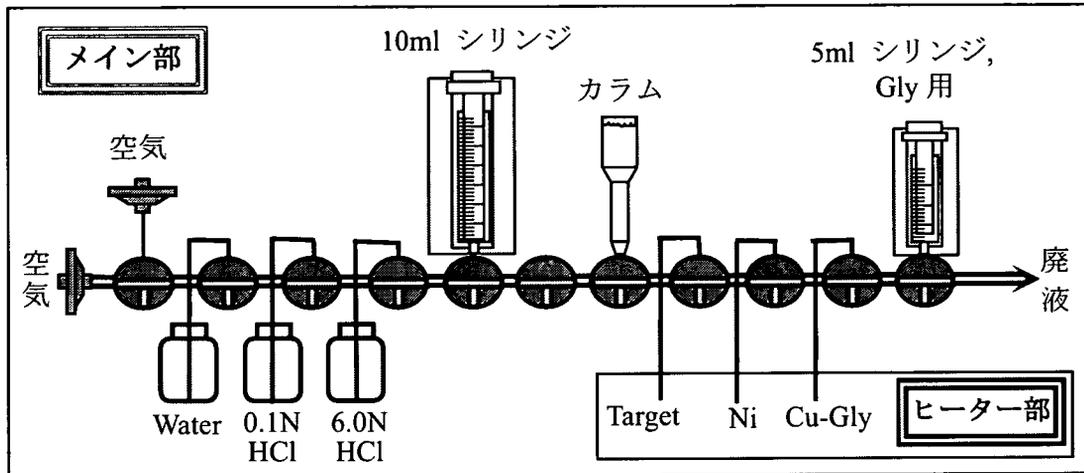


Fig.37. 放射性 Cu 精製装置の初期状態

システムの全体図を Fig.38 に示す。

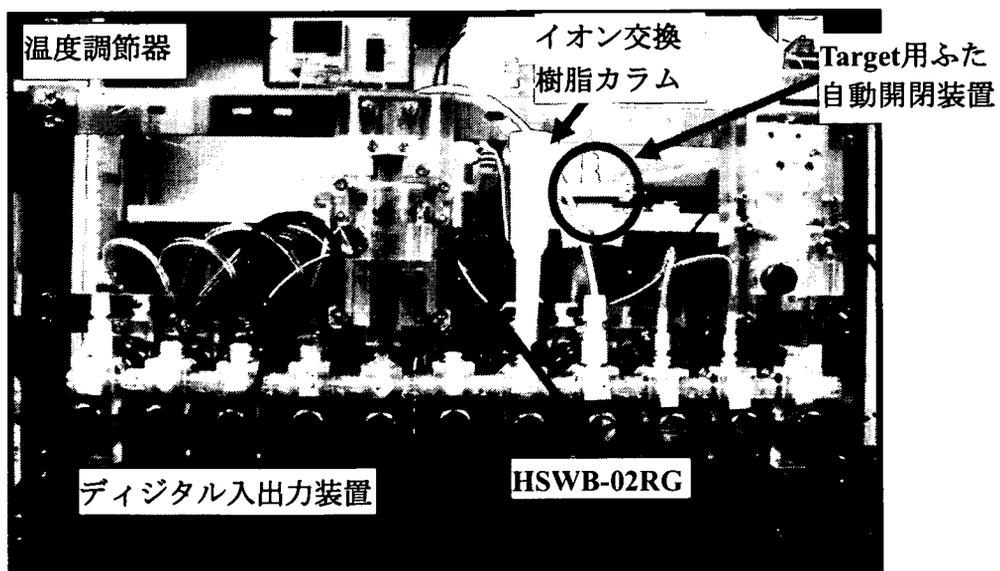


Fig.38. 放射性 Cu 精製装置の全体図

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ポ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。

システム的设计では、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。

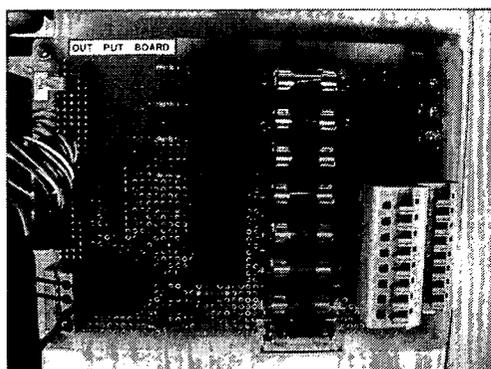


Fig.1. デジタル出力

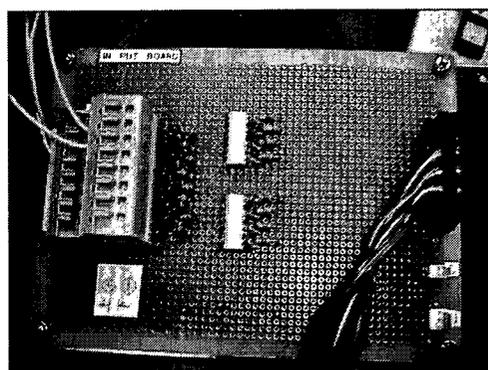


Fig.2. デジタル入力

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。

資料 1

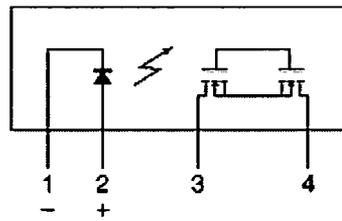


Fig.3. AQZ202 の等価回路図

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}	$I_F = 10\text{mA}$	
		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
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%					
耐久振動	最小	-	10~55Hz、複振幅 3mm	$I_L = \text{Max.}, V_L = \text{Max.}$	
				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。

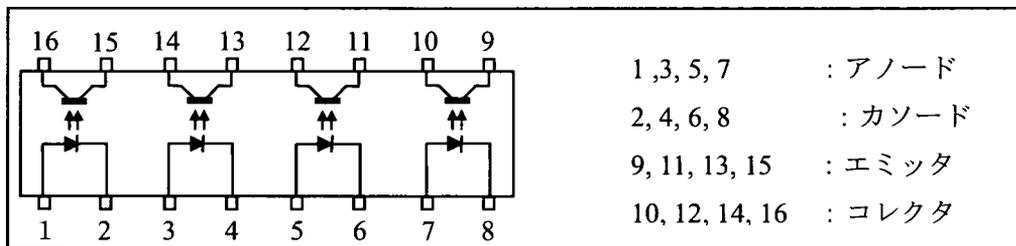


Fig.4. TLP521-4 の等価回路図

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	$\Delta I_F / ^\circ C$	-0.5($T_a \geq 25^\circ C$)	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($T_a=25^\circ C$ 以上)	$\Delta P_C / ^\circ C$	-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 ($T_a = 25^\circ C$ 以上)(1 回路)		$\Delta P_T / ^\circ C$	-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。

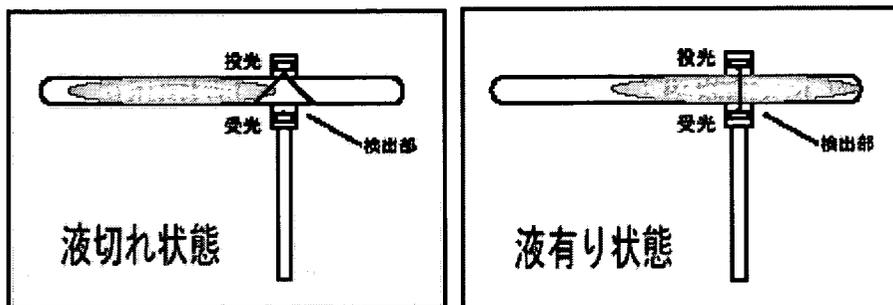


Fig.5 液面の検出方法

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

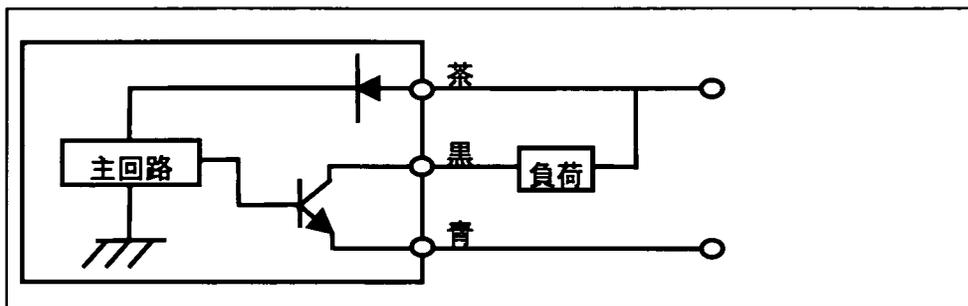


Fig.6. OGW- 1 0 0 1 の入出力回路

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。

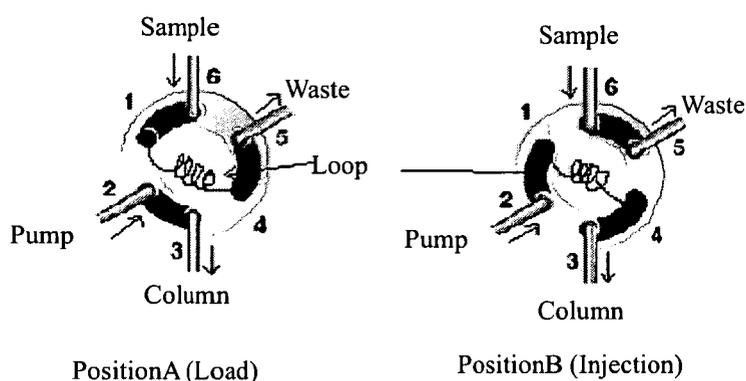


Fig.7. 2-Position, 6-Port

Table.6. EV700-100 の仕様

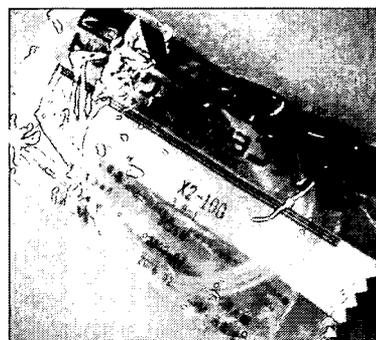
項目	EV700-100
Liquid Contacts	Stainless steel, PEEK, and alumina ceramic
Port Size	Accepts 10-32 male threaded fittings
Flow Passage Diameters	0.4-mm (.015") and 0.5mm (.018")
Volume in Flow Passages	Stator (includes the stator face assembly)- 0.7 uL/hole,
Rotor Seal	0.3 uL/groove
Maximum Pressure	35 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。



1



2



3



4



5

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。

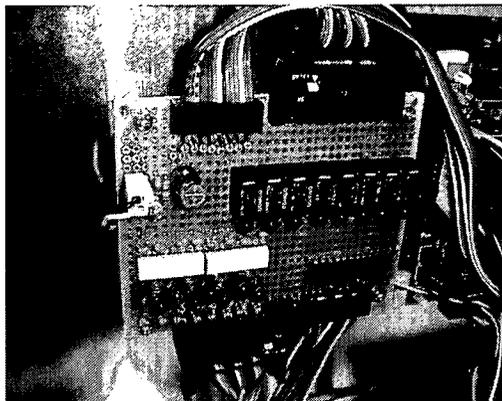


Fig.9. デジタル入出力装置

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。

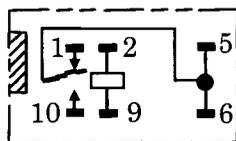


Fig.10. 内部接続図

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

2.2(b) 温度調節器

温度調節器は、アズワン社製の卓上型温度調節器 T-550-P を用いた。

現在、放射性 Cu 精製装置に使用されているのと同じものである。T-550-P の仕様 Table.11 に示す。

Table.11. T-550-P の仕様

項目	T-550-P
操作スイッチ	POWER スイッチ及び温度調節計のアップダウンキー
電源電圧	AC100V 50/60Hz
許容電源電圧	上記電源電圧に対して±10%以内
出力	SSR による電圧出力, AC100V MAX, 10A(抵抗負荷)
入出力方法	裏面端子台による接続
温度制御方式	PID オートチューニングタイプ PIDS (オーバーシュート抑制型)
センサー	Pt100Ω
設定温度範囲度(°C)	0.0~199.9°C (0.1°C単位で設定)

2.2(c) テフロン(PTFE)試験管

テフロン試験管は相互理化学硝子製作所から購入した。

仕様を Table.12 に示す。

Table.12. テフロンチューブの仕様

容量(ml)	全長×胴外径×上部外径×肉厚(mm)	コード
85	100×40×42×3.0	355-07

2.2(d) テフロンハーフユニオンコネクター

テフロンハーフユニオンコネクターはフロン工業社製の F2112-02 を用いた。

2.2(e) テフロンチューブ

テフロンチューブは、フロン工業社製の外径 3.0mm、内径 2.0mm を用いた。

2.2(f) 試験管とヒーターの間の筒銅

ヒーターとテフロン試験管の間に入れる銅筒をアルサス工業社と共同研究で製作した。

2.2(g) Target 用ふた自動開閉装置

Target 用ふた自動開閉装置京藤樹脂技研社と共同研究で製作した。装置の全体図を Fig.11 に示す。

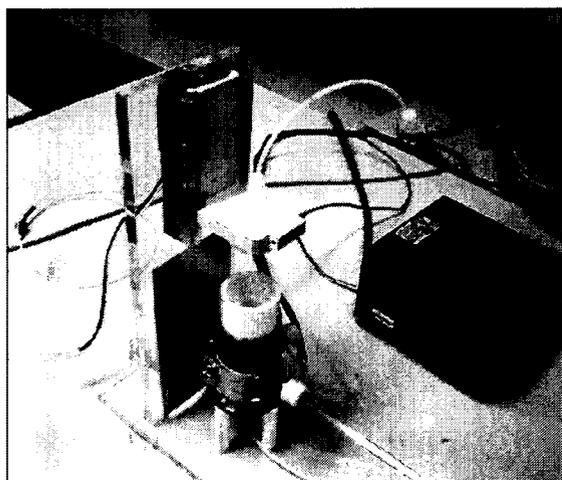


Fig.11. 装置の全体図

2.3 真空ポンプ

真空ポンプは旭テクノグラ社製の FTP-20A (フル・テフロン真空ポンプ) を用いた。

仕様を Table.13 に示す。

Table.13. FTP-20A の仕様

品名コード	FTP-20A
ポンプ型式	テフロンダイヤグラム真空ポンプ
接ガス部材質	ポンプヘッド/バルブボディー=PTFE ダイヤグラム=PTFE-COATED バルブ=CARLEZ, ホースコネクター=PVDA
吸引口径	φ10mm
電源	AC100V
定格電流値(A)	1.5A
排気速度(50/60Hz)min	17/20L
到達圧力(mbar)	8
到達圧力(Torr)	6
外寸法(W×D×Hmm)	312×10×207
重量(Kg)	9.3

2.4 イオン交換樹脂カラム

イオン交換樹脂カラムは、BIO-RED 社の Poly-Prep® Columns, AG® 1-X8 resin を用いた。

仕様を Table.14 に示す。

Table.14. Poly-Prep® Columns, AG® 1-X8 resin の仕様

Item	Poly-Prep® Columns, AG® 1-X8 resin
Matrix	Styrene divinylbenzene
Bed Volume	2 ml
Ion	Q (Quaternary ammonium)
pH Stability	0-14
Column Bore	8 mm
Column Length	4 cm
Barrel Material	polypropylene
Mesh Size	100-200
Ionic Capacity	1.2 meq/ml