

## 放射性降下物監視業務における蒸発濃縮操作の改善

2005-06-14 斎藤正明

降水降下物は $0.5\text{m}^2$ 大型水盤にて貯留した1ヶ月降水50-200Lを半導体検出器の標準計測容器量0.1Lにまで蒸発濃縮する。文科省放射能測定マニュアル降水降下物に沿って全国的になされている手法で改善の余地が限られる。

放射線管理モニタリングとして岡野・渡辺・山田と引き継がれてきたが、職員数が1/3にまで減少する現況で研究サイド斎藤に回ってきた。

チェルノブイリ事故の放射能をいち早く検出した業務の一環であり、また、昨今の北朝鮮核不安に絡み、困難な中でも当所としては作業中断しにくい状況にある。

人為的放射能の監視面では実質的に未検出NDデータの確認作業となる。

### [問題点]

労力、エネルギー及び時間の99%以上は上澄み水分の除去に費やされてきた。

火災予防面：蒸発濃縮操作において、赤熱ニクロムヒーター使用のため監視が必要で、昼間運転(8時間)に限定されていた。このため蒸発濃縮に毎月10日間以上を要した。

操作の煩雑さ：数時間おきに試料水を手動で補給する必要があった。空焚きによるピーカ破損は避けられない。破損の際は試料損失分を補正しなければならない。

総量数十リットルもの水分を過熱蒸発させるので湿気を屋外に排出する必要があった。

### [目標]

作業にかかる労力時間を職員数の減少に合わせ1/3以下とする。このために、

ロータリーエバポレータを試料水供給及び留出水除去を連続的に行うように変則使用。

無人化連続運転 労力削減

低温60℃ 蒸発24時間運転 処理能力3倍増(従来のニクロム線ヒーター8時間稼働比較)

理論データ

水の蒸発熱  $41\text{kJ/mol} = 633\text{Wh/kg}$

水の顕熱 比熱 $=4.2\text{kJ/kgdeg}$   $t=40$   $47\text{Wh/kg}$

1kg/hの蒸発に最低限 700Wの熱量が必要 24kg/d

設定目標65

+300Wで36kg/d 程度は可能と思われる。

現有機器を寄せ集め1, 2ヶ月で問題解決すること。

処理時間、作業量を軽減し、一年間観測継続した上で作業継続の可否を改めて判定する。

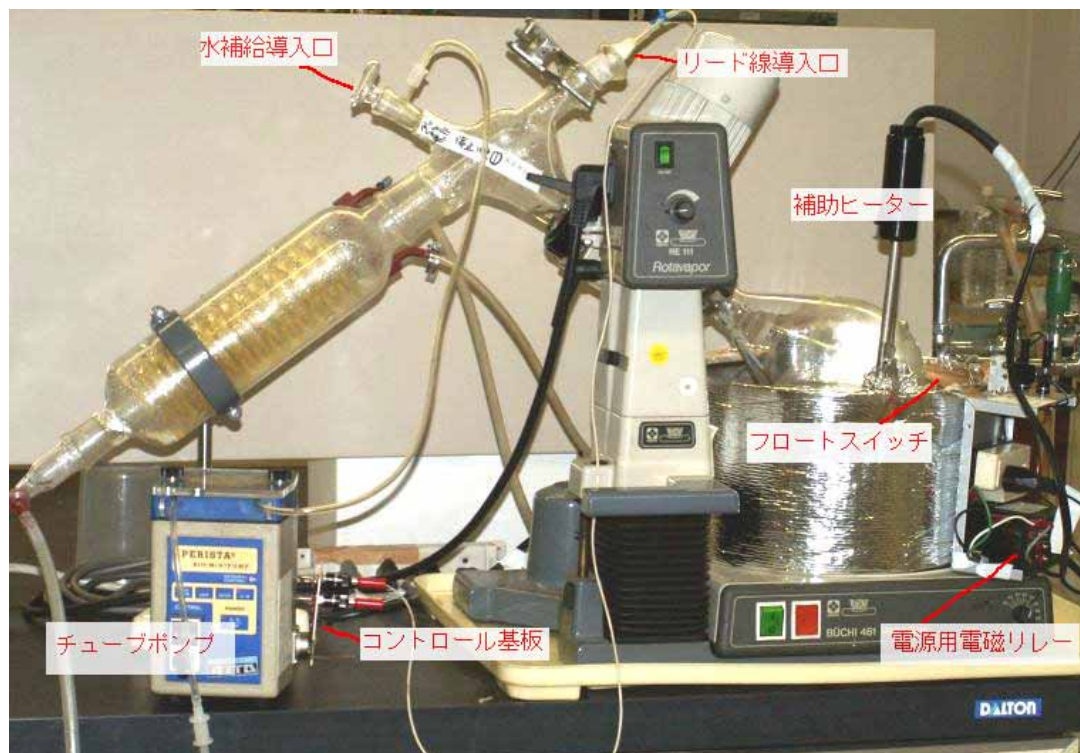
[ 成功モデル ]

市販品ロータリーエバポレータを利用し、次のような連続蒸発装置を考案した。最頂部吸引口を最底部となるように冷却管部を上下逆転し、留出水を排気とともに吸引除去する、という変則的な使用法。内圧調整用途のキャピラリー接続口を利用してチューブポンプを接続し、毎時一定量の試料水を連続供給。試料水供給点は気液界面に生成する析出物を洗い流すように試料フラスコ上部。

受けフラスコに替え、メクラふたを特注製作し、リード線を通し水位センサ（自作ニッケル電極）を蒸発水面に配置。水面接触による水位センサ導通（数百k～2M $\Omega$ ）を検出し、電源コントロール（自作）によりチューブポンプON-OFFのフィードバック制御を行った。



連続蒸発濃縮システムの全体像 他に吸引ポンプ有  
20 L 試料水タンクはチューブでサイホン接続



## システムの構成



本来の使用スタイル



試料フラスコ内部

2日間昼夜運転で 60 L の試料水を沈殿物を残す0.5Lにまで処理できた．従来比約 1 / 5 の改善成果が得られた．

---

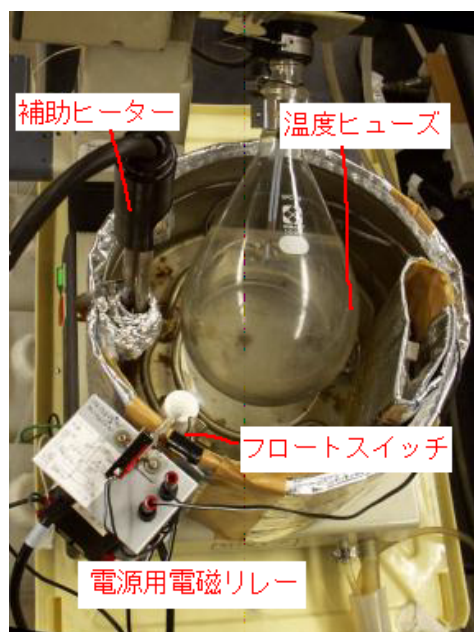
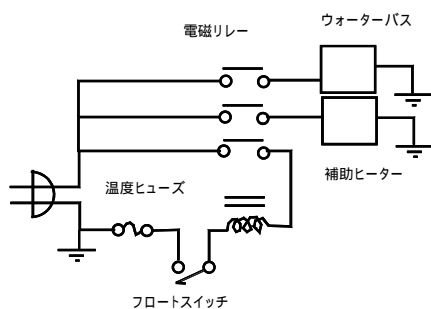
### [ 安全対策 ]

過熱対策： 既製品エバポレータのウォーターバス部60 は（１）液体膨張センサで一定温が保たれるが、水がなくなっても動作する安全性を確認済み（自動復帰）。

さらに夜間無人運転のために、別系統の手動復帰型の（２）水位フロートスイッチ及び（３）過熱ヒューズ(180 )をウォーターバスに設置し電源リレーを駆動させ、熱源に３重の安全対策を備えた。仮にヒーターの過熱が生じても対象物は水であり、ウォーターバス部に可燃物はない。

ウォーターバス補給水による熱損失を防ぐために、水補給部及びオーバーフロー部を断熱シートで覆った。水位は断熱シートの隙間を通して保たれる。本実験においてはバス既設のヒーター(1000W)では不足で投げ込み型補助ヒータ300Wを追加設置。

洪水対策： 冷却水がウォーターバスに補給され、別系統で循環アスピレータに冷却水が補給されて、各々オーバーフローで排水される。ウォーターバス部オーバーフロー出水口を切り開き排水容量を増量化。エバポレータ全体及びアスピレータをそれぞれバットに載せ、排水管を接続、機器から溢れた際に床が水浸しになるのを避ける努力をした。（気休め）



過熱防止機構



洪水対策



### [ 必須機器 ]

主要機器 = ロータリーエバポレータ ( 3 F ) , チューブポンプ , 循環アスピレータ ( 2 号館 ) を調達 .  
水流ポンプさび付きで不動 分解再組立 . アスピレータ部及び内部真空ゴムなど劣化部を全更新 . 不足  
ガラス器具など補充 . = 支出経費額 2 0 万円弱 . 電気部など製作部品は廃棄品から取り外し保管してい  
たものなどを適用 .

新規設置の場合原価 ( 38 + 16 + 9 = 64 万円 ) 価格 100 万円でセット販売可能 需要予測 30 台



水流ポンプ分解再組立  
内部劣化箇所多数交換 .

### [ 失敗例 ]

A . 最もシンプルな手法として , 冷却凝縮させずエバポレータを稼働させ , 水蒸気 ( 気体 ) のまま吸引  
させたところ , 気体としてアスピレータ ( 水流減圧器 ) まで吸引するのは減圧能力不足であることが判  
明 . 気体水蒸気は液体の 1000 倍以上の体積を持つため , 過大な流量を吸引しきれずに蒸発面を水蒸気圧  
まで下げることが困難 . この手法を実現するためには千倍以上の断面積の接続チューブ , 千台以上のア  
スピレータが必要となろう .

B . 留出水除去をエバポレータ最頂部吸引口から受けフラスコまでチューブを垂らし , 試みたが水蒸気  
が冷却部を通過しないことになるため凝縮が起きず上記例と同じ結果となった .

-----  
C . 昼夜運転では蒸発量が変動し , 一定量の試料水供給だけで試料フラスコ水位を一定にするのは困難 .  
蒸発量が勝り蒸発し切ったり , あるいは逆に , 溢れて試料水が損失 .

D . 供給チューブに加え , 吸引除去チューブを配置し , 供給量 > 蒸発量 , 吸引除去量 > 供給量に設定し ,  
吸引除去水を供給タンクに戻すようにすれば , 吸引除去点で水位が一定となりそうなもの . しかし , 吸  
引口も蒸発水面も等水蒸気圧となるため , 過剰水の引き抜きは理論的に不可能 . 結局 , 供給水を制  
御するしかない .

E . 供給水の制御として , チューブポンプの電源 on-off に電磁リレーを使用するとフィードバック制御による  
オンオフ間隔が頻繁となり , 負荷側チューブポンプが巻き線トランスを有することを併せ , 機械接点は動  
作不良を起こしやすくなる . 無接点半導体の双方向サイリスタを使用 .

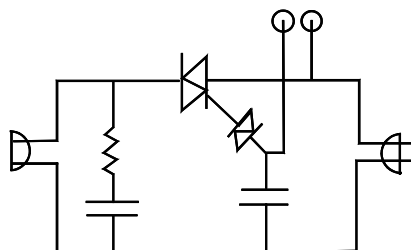
### 電源コントローラ製作（第一案 採用保留 外部コントロール不可の場合）

双方向サイリスタの通常使用での位相制御コンデンサの代わりに、水位センサを接続．通常例のようにゲートオン電圧をソース側から取ると水位センサオフ動作が不動．ゲートオン電圧を交流電源対局側から取ると動作するが最適抵抗値が4k 以下となり、ゲートオン電流による発熱量2.5Wと過大．ゲートオン電位として抵抗器4k の代わりに0.04  $\mu$ Fコンデンサを用いたところ発熱もなくon-off制御成功．

サイリスタの用途は一般に出力波形に依存しないヒータ等であって、モーター、コイルなどリアクタンスを含み交流波形に依存する変則使用には注意が必要．チューブポンプを分解したところ電源トランスで直流化、直流サーボモータを制御する仕組みで、本器制御によるチューブポンプの動作は不安定であった．電源コントロール出力波形をシンクロスコープで確認したところが、負荷がチューブポンプ10Wのみで歪みが大きく、600Wヒータを追加したとき正弦波が得られた．

サイリスタに通常に使われるフィルター回路＝数十 抵抗 & 0.1  $\mu$ Fコンデンサ直列を負荷側に接続したら低負荷でもきれいな正弦波出力が得られポンプ動作も安定．教訓：サイリスタにフィルター回路は不可欠．

電源コントローラ製作試験中に、不用意な接触で過大電流が流れ、ダイアック（ゲート信号を通す半導体ダイオード）が目前で破裂．ガラスパッケージが飛び散ったが眼鏡をかけていたため難を逃れた．教訓：保護メガネを忘れないこと．小物部品はストックが必要．



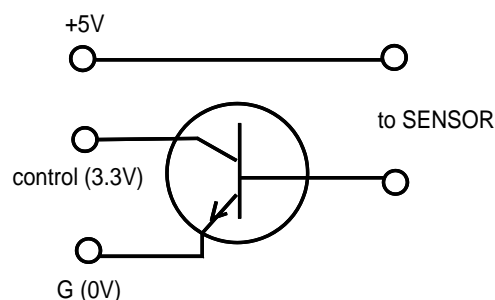
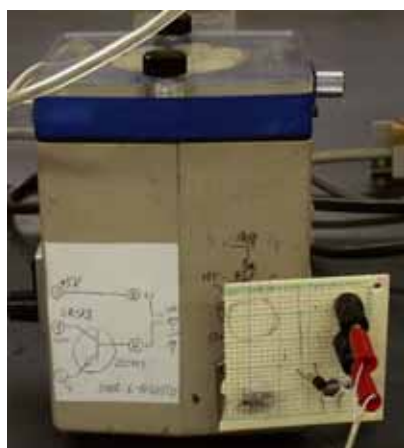
第一案完成品 5 W電球を安定化のために負荷したが眩しいので覆ってある．

### 外部制御コントローラ製作（第二案 採用）

チューブポンプを分解したことによって、外部制御端子を発見。製造会社から端子データをファクスにて受領。ある2つの端子をショート／オープンによってポンプの運転を外部／内部切り替え可能であることが判明。外部切り替え時は動作が停止するのでオフ制御として利用できる。2端子間の電位は3.3V / 0Vショートのための抵抗値は2k 以下、水分センサは / 2M で直結では動作は無理。

センサと抵抗でブリッジ回路を構成し、プログラマブルユニジャンクショントランジスタを用いて2端子間のショート動作を試みたが不調。

2端子間に汎用2SCトランジスタのエミッタ、コレクタを接続、別の+5V端子からセンサを通してベースに電位を供給したところ、水分センサでチューブポンプのON-OFF制御が可能となった。所感：コレクタより高電位をベースに与え、エミッタ - コレクタ間電位を下げるというのは（既知かもしれないが）初めての経験で興味深い。ベースに抵抗を直列の方が好ましいが5Vでトランジスタの最大定格を超えることはないだろう。



コントロール基板 完成品

トランジスタ1個だけのシンプルなもの。