

自動現像装置の開発

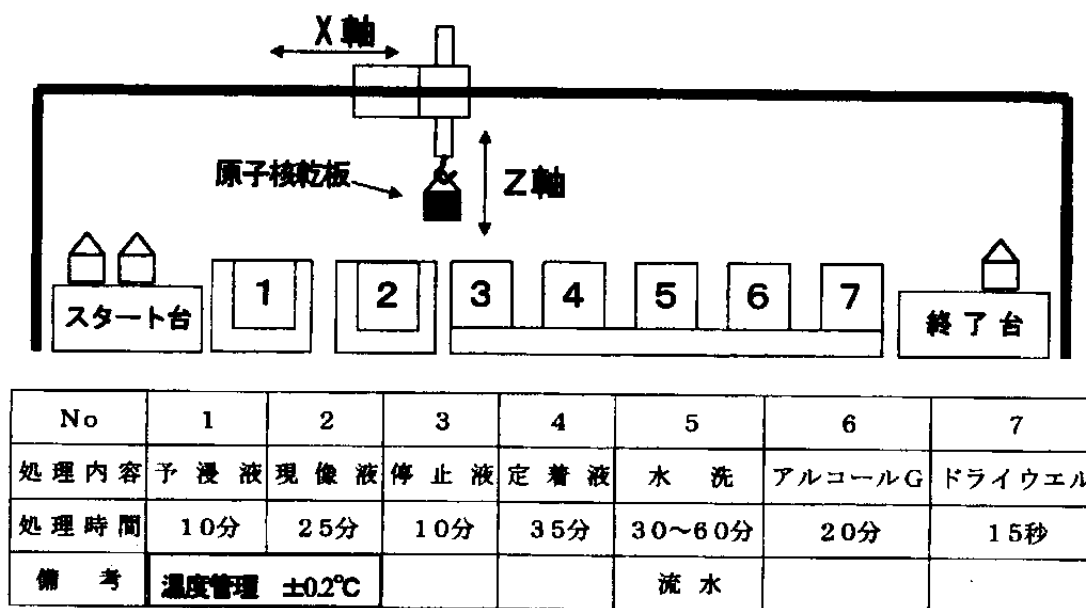
技術部電子情報技術班 石川秀蔵

1. はじめに

物理F研（基本素粒子研究室）が推進しているニュートリノに質量があるかどうかを調べる国際共同研究（OPERA計画）において、 $10\text{ cm} \times 12.5\text{ cm}$ の原子核乾板を毎日3000枚以上、5年間にわたりイタリアで現像する予定である。これは大病院のX線フィルム現像に相当する処理量である。原子核乾板の現像自体に試行錯誤が必要であるため、新たに自動現像装置の開発を行うことになった。以下、装置の基本開発から実用化に向けた開発の現状を報告する。

2. 装置の概要

装置の概要と現像処理工程を図1に示す。原子核乾板を収納したラックは、スタート台に置かれると、X軸Z軸の2軸からなる駆動部のフックが自動的に持ち上げ、順次上げ下げを繰り返し、所定の処理時間を経て終了台に移動する。全工程の処理時間は約2時間である。



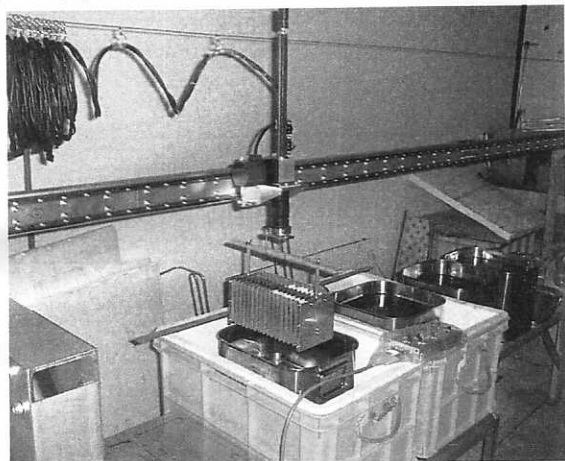
(図1) 装置の概要

表1に装置の仕様を示す。装置の主な構造を説明する。X軸レールの全長は4mであるが、運搬時の要請から長さを2分割したステンレス製C形鋼を接続し、直線案内には市販のVガイドシステム（V溝ローラ+V形レール）を使用した。このレールの自重（40kg）によるたわみが約3mmあったが、負荷5kgによるたわみは1mm以下で実用上の問題はなかった。駆動機構は、X軸においては新たにステッピングモータ+タイミングベルト方式を設計し、Z軸においては市販のステッピングモータ付きの直動装置（負荷荷重=10kg）

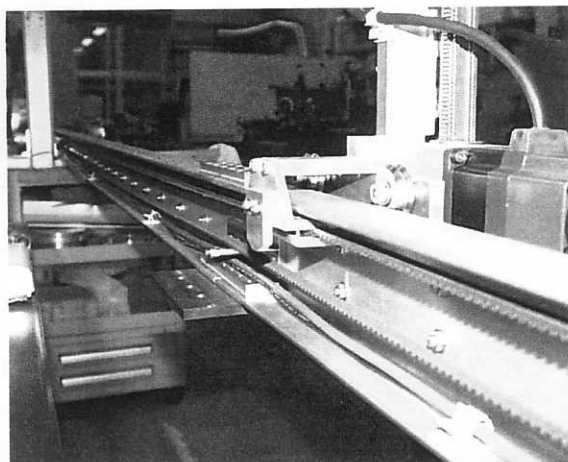
(ラック)	仕様
移動距離	X軸: 3500mm、Z軸: 300mm
移動速度	2~3 cm/秒 (高速時=10倍)
最大荷重	5 kg
位置決め精度	$\pm 1\text{ mm}$
(その他)	
処理時間の精度	$\pm 10\text{ 秒}$
装置の長さ	2m以下に分割 (運搬のため)
耐薬品性	酢酸などに耐えること

(表1) 装置の仕様

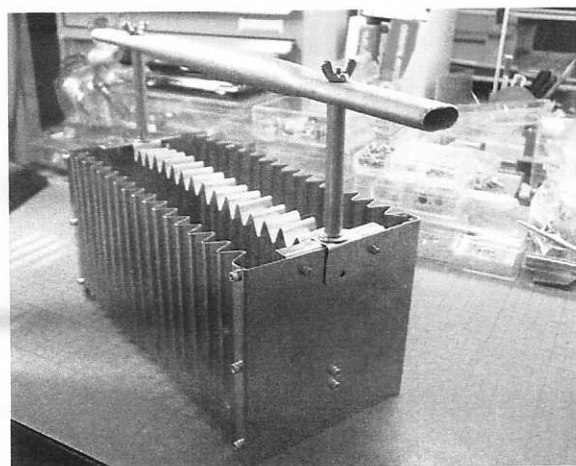
を使用した。以下、写真1にテスト運転中の装置全体、写真2にX軸レール内の駆動部、写真3に原子核乾板15枚を運搬するラック、写真4にラックを処理液に浸けた状態をそれぞれ示す。



(写真1) テスト中の装置全体



(写真2) X軸レール内の駆動部



(写真3) 15枚入り運搬用ラック



(写真4) 処理テスト中のラック

3. 制御について

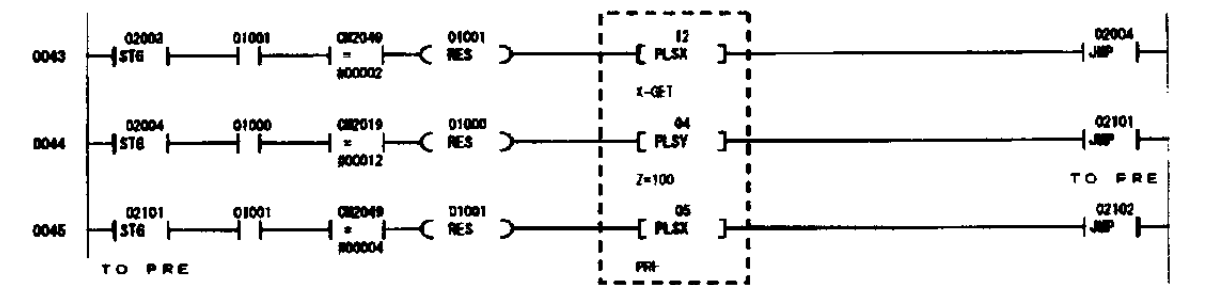
制御の基本動作は、持ち上げる→移動する→下ろす→処理時間待ちの繰り返しである。一般にこのような連続した制御をシーケンス制御といい、産業界の自動製造装置などに多く見られる。一般に、シーケンス制御には、リミットSWやリレー等の有接点制御のものと、接点や配線をマイクロコンピュータと付属回路により構成したものがある。前者はプログラムの確認・変更が困難であるが、後者はプログラムやデータをメモリに保存することが出来るなど、制御の自由度が高いので、後者の制御方式を採用した。これはプログラマブルコントローラ（PLC又はPC）と呼ばれ、写真5に今回使用したキーエンス社のPLC（KV700、拡張入力ユニット、電源）を示す。



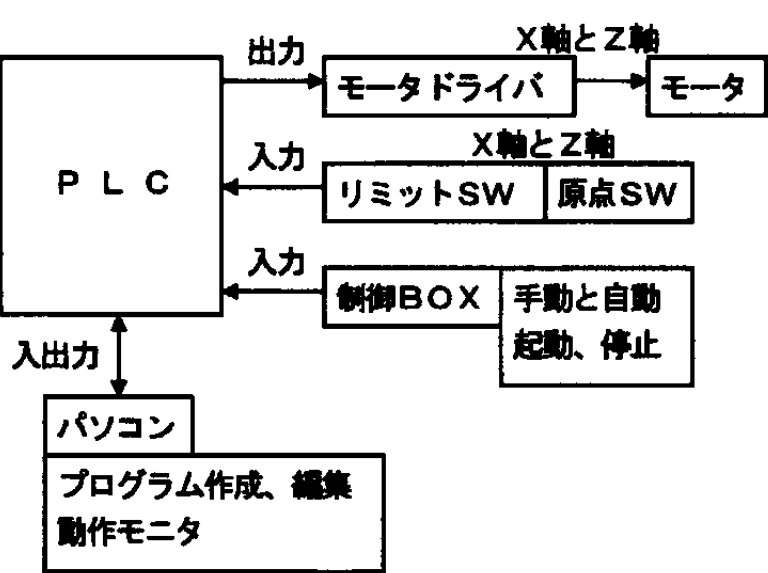
(写真5) 使用した PLC : KV700

このPLCの主な仕様は、CPUユニット入出力14点、入出力リレー9530点、タイマ・

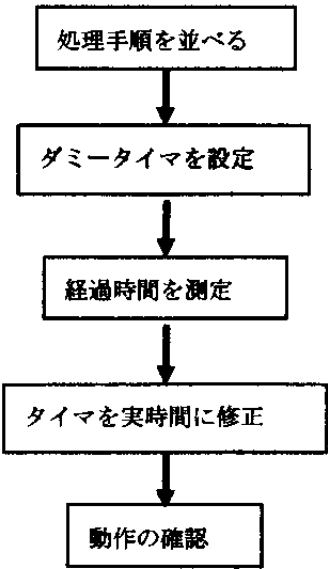
カウンタ512点、データメモリ20000点などであり、他に位置決めパルス出力2点を有するなど今回の2軸制御の自動現像装置には最適なものであった。プログラム開発には専用のツールを使用することで、編集・設定、モニタ・デバッグを容易に行うことが出来る。実際に作成したプログラムの一部を図2に示す。これはラダープログラムと呼ばれる形式で、梯子(ラダー)のように上から順に動作手順に従ってアイコンで示された命令を並べるものである。点線で囲んだ場所は滑らかな動作に用いられる台形制御を専用のマクロ命令で記述したものである。以上のようにPLCにおけるプログラム開発は初心者にとっても、理解し易く、かつ効率的に行うことが出来る。



(図2) ラダープログラム



(図3) システムの概要



(図4) プログラム開発の手順

図3は今回のシステムの概要である。入力に制御BOX、リミットSW、原点SWを接続、出力に2軸のモータドライバをそれぞれ接続し、パソコンからプログラム転送やPLCの動作モニタをすることが出来る。

次に、実際に作成したプログラム開発の手順を図4に示す。これは、ラック1個による単一処理の手順を考えたものである。すなわち、ラックの正確な移動時間が不明であるため、ダミータイマを設定

処理方法	処理時間	1個当たり	個数/8h
単一	135分(実測)	100%	~4個
3個並列	224分(実測)	55%	~8個
6個並列	推定 →	30%	~15個

(図5) 処理方法の比較

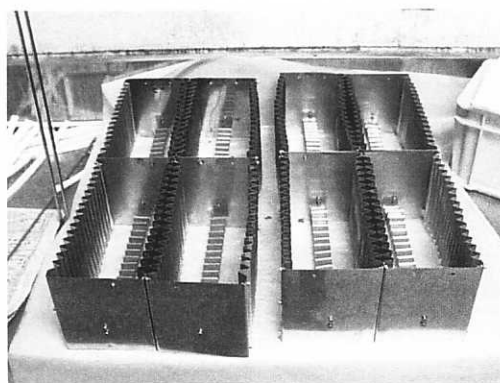
し全体のプログラム作成後、実測により正確な待ち時間を計算する方法である。ここで、当面の現像処理の目標は原子核乾板56枚を1ブロックとして1日当たり約30個としているので、処理時間の大幅な効率化を図るため、同時に複数のラックを処理する並列処理が必要となった。単一処理と並列処理を比較した結果を図5に示す(水洗時間を35分とする)。3個並列の実測値から6個並列の処理時間を推定すると、単一処理に対して約30%と予想され、1日当たり(8時間作業とする)の処理数は目標の半分程度にしかならないことが分かった。目標を達成するためには、さらなる効率化が必要とされる。現在の効率化の案として、1) 同時に2ラックを処理する、2) 2台の現像機で処理する、3) 終夜連続処理をする等が考えられるが、それぞれ課題があり、更なる検討が必要である。

4. 実用化に向けて

現在、自動現像装置は実用化に向けて様々な改良および検討を行っている。以下、具体的に紹介する。

1) 効率化について

先にも述べたように大量処理をするためには、効率化が必須である。しかし、多数個並列処理のプログラム開発に当たり、現在のダミータイマを設定し実測による待ち時間を計算する手法では限界があり、今後は工程をすべてユニット化したパラメータとする方法が要求される。合わせて運搬用ラックの大型化も必要であり、現在は同時に1ブロック56枚を処理している。(写真6)



(写真6) 56枚入り運搬用ラック

2) 安全性・信頼性

貴重なデータが含まれる原子核乾板をもれなく完璧に現像することが最重要である。現在のシステムは、いわゆるオープンループ制御であるので、安全性・信頼性が十分ではない。現在、これを改善するため、エンコーダを用いて移動中の座標値を取り込んだり、ラックを確実に上げ下げしたことを確認するセンサを取り付けるなど、新たな安全システムを検討している。その他、人為的ミスを防止するため、最初にラックを置く場所や処理タンクの固定位置が正確に決められるような取り付け治具を整備する必要がある。

3) その他

現像時間は現像液の温度と疲労に依存するため、新たな機能がプログラムに必要となる。自動現像装置と直接の関係は無いが、処理液の供給と廃液処理、最適な処理液容量などが装置全体の大きさ、設置場所に関係する課題である。

現在、処理工程6番目のアルコールグリセリン溶液については、防火上の問題から常時開放にすることが出来ないため、自動化は水洗までの5工程で様々な試行現像を行っている。

5. まとめ

今回、自動現像装置の基本開発を行うことが出来た。現在、大量処理に向けた実用化を目指して、装置とプログラムの改良および作業環境の整備を進めている。本装置に採用したPLCによるシーケンス制御は初心者にも理解しやすく、今後の装置開発における基本ツールのひとつとなると考えられる。