

# 顕微鏡用高速ステージの開発

河合 利秀

教育研究技術支援室 装置開発系

## 1. はじめに

本発表は、熊本大学で行われる総合技術研究会にて発表予定の「原子核乾板用次世代型顕微鏡ステージの開発」と同じ内容であることを最初にお断りします。

原子核乾板は素粒子の振る舞いを詳しく調べる有力な観測手段であり、私たち（教育研究技術支援室装置開発系）は長年にわたり原子核乾板を使った素粒子研究の基礎技術開発に携わってきました。

私の発表は、名古屋大学における原子核乾板を使った素粒子実験の技術発展を概観しつつ、私たち技術職員が関わった技術開発の失敗と成功の歴史を振り返りながら、今回の超高速顕微鏡ステージ開発の意義と技術的困難性、そして技術の見通しについて順次紹介していきます。もし、最初の駆動実験ができていれば、水平対向同期制御運転の感触をお伝えできると思います。

この発表でいう超高速ステージは、昨年の技術研修会における理学研究科・中村光廣準教授の特別講演「素粒子研究」で紹介された「長基線ニュートリノ振動実験（OPERA）」における技術開発の大きな柱の一つで、原子核乾板の解析速度を現在の100倍にするものです。超高速ステージはこれを実現するためモータ制御の限界に挑みます。私に示された仕様は以下のとおりです。

① 5 mm を 10msec で移動（5 G）し、90msec 静止する動作（ここで画像撮影）を休みなく繰り返す

② 可動範囲は、左右 150mm、前後 120mm、上下 5mm、ただし高速動作は左右方向のみ

③ 画像撮影時は、 $0.2\mu\text{m}$  以内（左右、前後）焦点深度  $0.5\mu\text{m}$ （上下）以内に顕微鏡視野の動きを抑える

現存する最大加速度のコアレスリニアモータで5 Gを実現できる最大質量を概算したところ、加・減速は仕様を実現するものの、画像撮影で上質の画像を得るための $0.2\mu\text{m}$ 以内の静止が困難です。これを実現するために特別に工夫を施したものが超高速ステージです。

超高速ステージ試作機の概要を図1に示します。横幅2 m、奥行き1 m、高さ1.7m、総重量1.4 tという大型の装置です。高速駆動部はリニアモータを使っています。中央に搭載している顕微鏡大型対物レンズは80kgです。

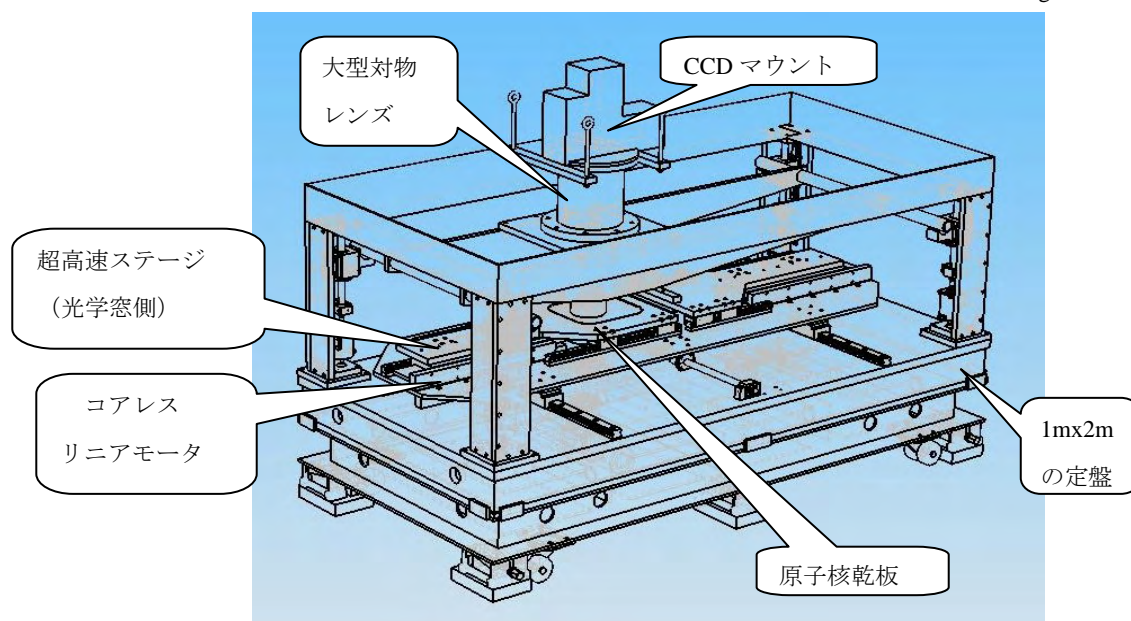


図1、超高速ステージ試作機の概要

## 2. 原子核乾板とは

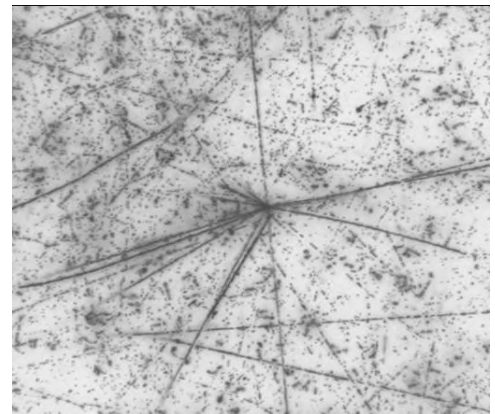
原子核乾板とは、写真フィルムに似たもので、電子や陽子などの荷電粒子が写真の乳剤（ハロゲン化銀を含む部分）を通過したときに、その部分が潜像として記録される現象を用いて、素粒子を検出するものです。

**写真1**は実際に原子核乾板に写った素粒子反応です。

原子核乾板が一般の写真と異なるのは、原子核乾板には適度な厚みがあり、素粒子飛跡が三次元的に記録されることです。

高エネルギー実験でよく用いられるカウンター類はリアルタイムで素粒子反応を観測できる半面、反応点を細かく見ることに限界があります。それに比べ、原子核乾板は素粒子飛跡を固定化できるので、顕微鏡を使って繰り返し詳細に測定できます。原子核乾板はこうした特長を生かして、1960年代まで新素粒子検出の有力な観測手段でしたが、自然界の宇宙線が原子核乾板の中の銀の原子核と衝突する「偶然に支配された」検出器であることや、宇宙線がランダムに当たって大量の不必要な素粒子飛跡が写ってしまうという欠点がありました。

この欠点を克服したのが、原子核乾板と鉛をサンドイッチ構造にして原子核乾板に垂直に入った素粒子の飛跡をコンピュータ画像処理で追跡し素粒子を同定する方法の確立です。今では CCD カメラと画像処理コンピュータによって素粒子の飛跡情報を高速に識別し、条件に合う素粒子反応を効率よく見つけ出すことができます。こうした技術革新によって進化した原子核乾板は、 $\tau$ ニュートリノを直接観測できる唯一の測定器として、現在も有力な素粒子検出器の一つです。



**写真1、原子核乾板に写った素粒子反応**

## 3. 顕微鏡ステージの開発とは

顕微鏡ステージは CCD カメラと画像処理を連動させて効率よく原子核乾板の画像を取り込む総合的なシステムであり、今日の技術革新を取り込むことで劇的にその性能を向上させてきました。ここでは少し紙面を割いて、原子核乾板の素粒子飛跡を検出するための顕微鏡ステージの発展を紹介し、今回の超高速ステージ開発のストーリーを紹介します。

### (1) 初期の顕微鏡ステージと自動化

原子核乾板を見る顕微鏡ステージの最初の姿は一般の生物顕微鏡に少し手を加えて、載物台に原子核乾板を載せたものです。初期は宇宙線が原子核乾板を真横に通過したときに起きる衝突反応で生成された素粒子群を観測していました。この方法の優れている点は、観測者が直接原子核乾板に残された素粒子反応を見て素粒子の振る舞いを確かめられることです。素粒子反応を一つ一つ理解する楽しさを観測者に与える反面、全て人間が判断するので効率が上がりませんでした。

これを大きく変えたのが DOMS システムです。原子核乾板と鉛を交互に積み上げたモジュールに垂直に粒子を当て、鉛の原子核に衝突して生成した素粒子群を垂直方向に追跡するという方法を、コンピュータと画像処理技術を連動させて実現しました。顕微鏡の載物台を DC サーボモータで駆動し、原子核乾板の座標を自動的に読み取りながら素粒子飛跡解析を行います。**写真2**はサーボモータの駆動ユニットを取り付けた DOMS 対応の顕微鏡ステージで、第二装置開発技術の伊藤有男氏が開発したものです。DOMS は当時普及しはじめたインテルのマイクロプロセッサ（i 8080）を使い、0.5 $\mu$ m の分解能を持ったハイデンハインのエンコーダによる座標読み取りと高速 CCD カメラによって原子核乾板を通過した素粒子飛跡を追跡。得られた座標データをミニコンによって三次元に再構成し、素粒子飛跡の解析を行いました。

### (2) 顕微鏡ステージの高精度化と大型化

DOMS システムで素粒子解析が進むと、より精密な解析が求められるようになり、顕微鏡ステージの座標分解能が不足するようになりました。それに代えたのが三鷹光器の顕微鏡ステージです。これは三鷹光器が天体写真解析用に開発した精密コンパレータを改造したもので、対物レンズの上下微動も自動化して原子核乾板の断層写真を撮り三次元の素粒子飛跡データを取り込みます。三鷹ステージは顕微鏡の改造メカニカルステージでは実現できなかった高い座標分解能（X、Y、Z とも 0.5 $\mu$ m）で素粒子反応の解析が可能となり、新素粒子発見に大きく寄与しました。**写真3**は三鷹ステージです。この装置は高価であるため大学の研究室に十分配置できない悩みもありました。



写真2、初期の顕微鏡ステージ



写真3、三鷹ステージ



写真4、Nikonステージ

原子核乾板と鉛を交互に積み上げたモジュールを使った実験では反応点を探す前の準備が行が多くを占めるので、これを担当する安価な顕微鏡ステージが多数必要でした。そのために開発されたのが Nikon の顕微鏡ステージ(写真4)です。Nikon ステージは、中抜き XY メカニカルステージ、CCD と顕微鏡鏡筒、それを支える支柱、顕微鏡の対物レンズを上下する機構で構成され、座標精度は X, Y とも  $5\mu\text{m}$ 、駆動範囲は X, Y とも 300mm です。Nikon ステージの制御は MS-DOS ベースとなり、画像処理と連携したシステム (TS と呼ぶ) により原子核乾板の解析速度が飛躍的に向上しました。

しかし、Nikon ステージには対物レンズ焦点微調整機構 (Z 軸) の耐久性が低いという大きな欠点がありました。原子核乾板の画像読み取りでは対物レンズを絶えず上下に動かすため、この部分のメンテナンスに多くの人手と時間を要しました。耐久性のあるメカニカルステージの開発が必要になりました。

TS を改良した UTS によって原子核乾板の解析能力が飛躍的に向上すると、従来の Nikon ステージでは座標分解能が不足し、解析性能を制限しました。これを補うため、Nikon ステージの上に乗せて座標分解能を向上させるバーニアステージを考案しました。これは薄型高座標分解能・微動専用のバーニアステージを従来のメカニカルステージに載せて総合的に座標分解能を上げるという発想でしたが、これは失敗に終わりました。初期性能は充分で安価に座標分解能を上げられたのですが、小さな駆動機構は予想以上に消耗が激しく、耐久性の悪さから実用には至りませんでした。

### (3) S-UTS と高速ステージ

バーニアステージの失敗から、まったく発想を変えて、新しい原子核乾板の画像取り込み方法を実現したのが S-UTS と高速ステージです。

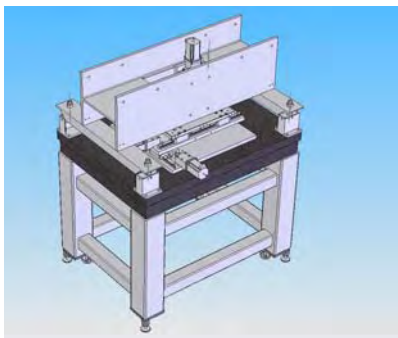


図2、高速ステージ (3DCAD)



写真5、完成した高速ステージ



写真6、S-UTS

S-UTS (写真6) には第一装置の石川氏が開発した対物レンズを原子核乾板の厚みだけ上下に動かす機構が組み込まれています。S-UTS によって対物レンズはピエゾ素子で縦横ノコギリ波状に駆動されます。S-UTS と連動して画像情報をくまなく取り込むための高速ステージ (設計イメージを図2に、完成したステージを写真5に示す) 開発を私が担当しました。高速ステージは X 軸を  $2\text{mm}/\text{sec}$  の一定速度 (速度安定性 0.2% 以内) で駆動し、X 座標が原子核乾板の端に来たら Y 軸を  $100\mu\text{m}$  移動させて X 軸を反転。X 軸の速度安定性を実現することが最も重要な点でした。

そしてもうひとつ、高速ステージは、S-UTS が 100Hz で駆動されるとき顕微鏡視野の振動を、画像解析限界の  $0.2\mu\text{m}$  程度に押さえ込むための、特別な振動吸収構造が必要です。そのために、「振動質量と振幅の積は幾何学的対称性をもつ」という原理を応用し、顕微鏡視野の振動を  $0.2\mu\text{m}$  以内になるよう S-UTS を支える構造物を重くしました。振動源が 100g

で 200 $\mu\text{m}$  の振動であれば、顕微鏡視野の振動を 0.2 $\mu\text{m}$  に抑えるには構造物を 100Kg にすればよいことになります。

この考え方は成功し、高速ステージは従来の三鷹ステージや Nikon ステージに比べ 100 倍の読取速度を実現しました。このシステムによる原子核乾板の読取速度は世界最高性能であり、4 台が OPERA の主力解析装置として稼動中です。

#### 4. 次世代型顕微鏡ステージ：超高速ステージ開発の目的

写真フィルムがデジタルカメラによって駆逐された現在、原子核乾板を供給してくれていた写真フィルム会社の事業は急速に縮小し、OPERA 実験以後、企業サイドでは原子核乾板を生産できなくなりました。そのために、原子核乾板を使い続けようとするれば、原子核乾板の生産設備や開発コストを研究室で維持しつつ、原子核乾板技術を素粒子実験以外の広い範囲で応用する技術を開拓する必要がでてきました。

原子核乾板は自然界に存在する宇宙線をうまく利用することにより、火山のマグマの活動を監視したり、溶鉱炉などの大型設備の非破壊検査が可能です。しかし、そうした原子核乾板の応用を広げるためには、原子核乾板の解析速度を現行の 100 倍～1000 倍にする技術革新が必要でした。

次世代型顕微鏡ステージ=超高速ステージは、現行の高速ステージによる読み取り速度をさらに大幅に向上させるための技術開発の一環であり、原子核乾板技術に新たな観測装置としての命を吹き込むための技術開発でもあるのです。

#### 5. 超高速顕微鏡ステージの概念

これまでは普通の顕微鏡対物レンズと CCD を使って 0.1mm 四方の画像を撮っていたのに対し、超高速ステージは大型対物レンズを使って DDC を多数配置し、5mm 四方の画像データを一気に取り込みます。

この方法では一回に撮れる画像の広さが従来の 2500 倍になりますが、S-UTS のように対物レンズを高速駆動して断層写真を撮るといった使い方はできず、UTS と同じように Z 軸をメカニカルステージで上下させて一回一回断層写真を撮るので、総合的な読み取り速度は 100 倍になります。超高速ステージの仕様は以下の通りです。

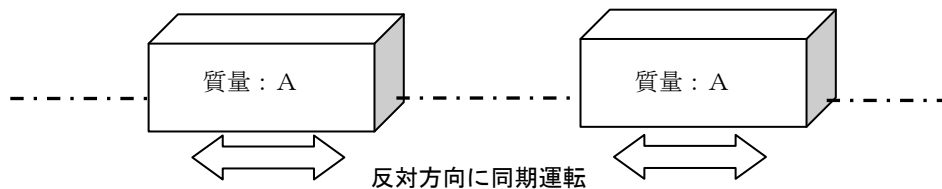
**X 軸**：1 コマ 5 mm を 1 秒間に 10 コマ分横にステップ移動し、画像を取り込む。言い換えると、5mm を 20msec で移動し 80msec 静止する動作を繰り返す。このとき静止時の画像上の振れは 0.2 $\mu\text{m}$  以内。可動範囲は 150mm。このときの最大加速度は 5 G を超えるので大きな振動が予想される。

**Y 軸**：可動範囲は 300mm、実際は 120mm でよいが原子核乾板を交換するため大きな移動距離が必要である。今回は 300mm の移動を従来の駆動方式で実現する。Y 軸の天板は X 軸の超高速動作を受けるので剛性が必要である。

**Z 軸 (主光学系)**：重量 80Kg の主光学系を搭載して上下に 10mm 駆動、再現精度 0.5 $\mu\text{m}$  を実現する。

**照明光学系**：ステージの下から透過照明系を配置、照明系は X、Y、Z それぞれ 10mm 程度微調整できる駆動機構が必要である。これに加え、原子核乾板交換作業の Y 軸退避と同時に照明光学系も退避が必要である。

この顕微鏡ステージ開発において最も困難なことは、画像撮影時に原子核乾板と対物レンズの相対的位置関係を X-Y 平面上で 0.2 $\mu\text{m}$ 、Z 軸で 0.5 $\mu\text{m}$  以内に静止させることです。これを可能にするために考えたのが 水平対向同期駆動 による振動除去機構です。



**図 3. 同一平面上を同じ重さのものが反対方向に動いても全体の重心は変わらない：水平対向同期駆動**

図 3 に示すように、同じ質量のものを同一平面上で正反対に動かすことができれば、大きな G でも全体の重心位置は変化せず、振動は発生しないという考え方ですが、正反対に完全に同期駆動できれば実現可能であると考えました。

サーボモータの同期運転は、安川電機の展示会におけるデモンストレーションが有名です。この展示は、慣性質量の異なるサーボモータを向かい合わせに配置し、シャフトに直結した円盤にシャープペンシルの芯を渡して固定、任意に

ON-OFF させたとき、シャープペンシルの芯が折れない！というものです。この同期運転を可能にしている制御機構を用いて水平対向同期駆動を行い、振動を抑えようというのが今回の超高速ステージの基本的なアイデアです。

## 6. 超高速ステージの概念設計

次に、水平対向同期運転による超高速ステップ動作というアイデアが実際の大きさと重さで実現できるかどうかを探るための概念設計を行いました。現在入手できる大推力&高加速度のリニアモータの特性を掌握し、逆算して駆動可能な質量を求め、それが現実的なメカニズムとして成り立つかを確認する作業です。

### (1) モータ発熱の問題

5章で述べた駆動パターンに対応するには加速度の大きなコアレス・リニアモータを用います。安川電機の同期制御を使う関係から、同社のコアレスモータで推力が最大の 90A-535C マグネットレール：90504 を使うと仮定し、要求する駆動パターンにおける駆動質量の上限を計算したところ、現実的な値となりました。

そこで、利用率 100%を仮定してどのような問題点があるかを安川電機のモータ設計の専門家に問い合わせたところ、モータ 1 基あたり 1KW の発熱があることを指摘されました。この熱は周囲の構造物を過熱し、様々な問題を発生させるので、何らかの対策が必要となります。

今回はマグネット側を駆動するステージ側に取り付け、電機子側を固定側にすれば、あとで熱の移送機構を追加することができるため、この配置で設計を進めることにしました。

### (2) CCD稼働中のステージの静止

超高速ステージはステップ動作ですから、推力ゼロの撮影モード（静止状態）では、X軸上の原子核乾板と対物レンズの位置関係が、X-Y平面で $0.2\mu\text{m}$ 、上下に $0.5\mu\text{m}$ 以上動いてはなりません。振動を最小限に抑える必要があります。

振動を発生させない基本的な原理は水平対向同期駆動にあります。もう一つ、リニアモータの推力がゼロになったときに直線案内機構の摩擦抵抗でメカニカルステージを静止させる原理として摩擦抵抗を使います。リニアガイドにあえて摩擦係数の大きなものを選び、モータ推力がゼロの時に摩擦抵抗で止まっていることを期待するという考え方です。

次項の計算式 3)~5)により、加速度に比べて摩擦に対する駆動推力が無視できる程度に小さいことから、リニアガイドの選定において、あえて摩擦抵抗の大きいものを選ぶことができます。

半導体プロセスに使われているステッパーはエアスライドを用いています。ステッパーは異なるマスクで複数回露光することからメカニカルステージの絶対位置精度が必要であるのに対し、原子核乾板の画像撮影は画像データを後で繋ぎ合わせるので画像を取り込んだときの座標が正確に読めればよい。従って、リニアガイドはストロークにおける摩擦係数が一様でなくても同期制御に影響を及ぼさない程度の違いであれば問題ないはず。推力ゼロの時、摩擦力が働いてくれた方が都合であると言えます。

### (3) リニアモータの駆動パターンとモータ選定

目標とする駆動パターンを **図 4** に示します。5 mm を 0.02sec で移動、0.08sec 静止、これを繰り返す。移動の平均速度は 250mm/sec、最高速度 500mm/sec、加速度は加速減速も 5 G を超えます。

速度 (m/s)

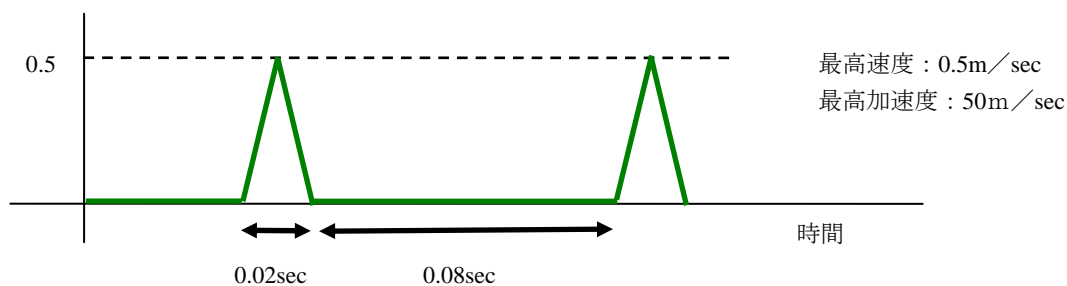


図 4、駆動パターン

このパターンでリニアモータによる駆動を想定し、ワーク+テーブル質量（駆動質量の限界）を計算しました。

・モータ質量	: WM (Kg)	14.7 (SGLGM-90504A、固定子側)
・テーブル質量	: WT (Kg)	20.0 (リニアガイドブロック 6 個: 4Kg 含む) と仮定する
・ワーク質量	: WL (Kg)	1.0
・設定ストローク:	: L (m)	0.15
・最高速度:	: V (m/s)	0.5
・加速時間:	: t1 (s)	0.01 (減速時間 t3 も同じ)
・一動作繰り返し時間	: t (s)	0.1
・摩擦係数 $\mu$	: 0.01	(速度に伴い摩擦係数は増加する)
・リニアガイドの摩擦抵抗: RL (N)		10.5 (ブロック一個あたりの摩擦: SHS 25)
・ブロックの合計数	: Nb	6
・摩擦係数	: $\mu$	0.01
・ケーブル引き回し抵抗	: Fn (N)	1
・モーター吸引力	: Fa (N)	0 (コアレスモータ: 0)
・重力加速度	: G (m/s <sup>2</sup> )	9.8
・安全係数	: K	1.3 (一般的に設定する値)

テーブルの重量を 20Kg と仮定し、加速減速時間を 0.02 秒で駆動に必要な推力などを試算します。

1)、全駆動質量

$$Wall = WM + WT + WL = 14.7 + 1 + 20 = 35.7 \text{ (Kg)}$$

2)、リニアガイドの摩擦 Ft (N)

$$Ft = \mu * Wall * G + Fa + Nb * RL = 0.01 * 35.7 * 9.8 + 0 + (10.5 * 6) = 66.5 \text{ (N)}$$

3)、走行抵抗 FL (N)

$$FL = Ft + Fn = 66.5 + 1 = 67.5 \text{ (N)}$$

4)、加速力 Fw (N)

$$Fw = Wall * V / t1 = 35.7 * 0.5 / 0.01 = 1785 \text{ (N)}$$

5)、加速推進力 F1 (N)

$$F1 = Fw + FL = 1785 + 67.5 = 1852.5 \text{ (N)}$$

6)、モーター最大推力 FM (N)

$$FM = F1 * K = 1852.5 * 1.3 = 2408.25 \text{ (N)}$$

7)、限界加速時間 t1

$$t1 = Wall * V * K / (FM - FL) = 35.7 * 0.5 * 1.3 / (2408.25 - 67.5) = 0.009915 \text{ (秒)}$$

$$t1' = 35.7 * 0.5 * 1.3 / (3000 - 67.5) = 0.07913 \text{ (秒)}$$

8)、実効推力 Frms (この値が連続推力を超えないようにする)

$$Frms = \{ \{ F1^2 * t1 + (F1 - 2FL)^2 * t3 + FL^2 * 0.3 \} / t \}^{-2} = 621 \text{ (N)}$$

9)、X軸用リニアモータの規格

安川電機のコアレスモータ 90A-535C とマグネットレール: 90504 の組み合わせは、カタログから、最大推力 3000N、実行推力 700N であり、最大推力、実行推力の検算結果を満足します。

10)、全駆動質量の余裕値

$$\text{モーター最大推力 (Fmax: 3000N) から駆動質量の余裕値を計算すると、 } Wall-1 = 44.8 \text{ (Kg)}$$

$$WT = Wall-1 - (MW + ML) = 44.8 - 15.7 = 29.1 \text{ (Kg)}$$

リニアガイドブロックの質量（4 Kg）を引くと、残りの駆動可能質量は 25.1（Kg）となる。このときの限界加速時間  $t_1$  “を逆算すると、

$$t_1 = 44.8 * 0.5 * 1.3 / (3000 - 67.5) = 0.09930 \quad (\text{秒})$$

となり、条件を満たすことがわかります。

#### 11)、結論

以上の計算により、安川電機のコアレスモータ 90A-535C マグネットレール：90504 を使ったときの、X 軸駆動質量におけるテーブルの設計限界値は 25.1Kg であり、目標のパターンで駆動可能であると判断しました。

#### (4) ラフ・デザイン

次に、テーブル質量 25.1Kg 以内でメカニカルステージを構成できるかどうかをラフ・デザインで確認します。

発熱問題への対処から質量の大きいマグネット側を駆動側に用いるので、テーブル質量 25.1Kg からマグネットレール (90504) の 14.7Kg を引くと、テーブルに残された質量は 10.4Kg となります。

水平対向同期運転による X 軸駆動なので、実際に原子核乾板を乗せる側を X 1 ステージ、カウンター側を X 2 ステージとして、X 1 ステージを設計し、X 1 ステージと全く同じ質量になるよう X 2 ステージを設計できるか確認します。

X 1 ステージは原子核乾板を載せる窓ガラス 0.26Kg を除くとテーブルに残された質量は 10.14Kg です。中抜き構造で高加速度の推力を剛体のように受け止められる構造として考えたのが **図 5** の X 1 ステージです。

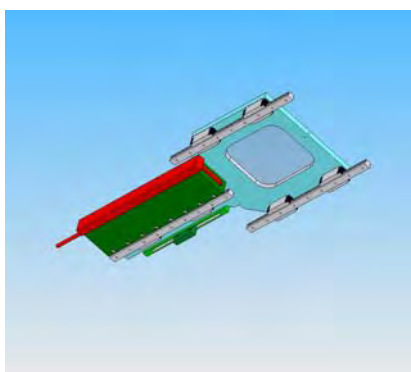
X 2 ステージは窓がないのでそのままでは X 1 と重心が違うことから、X 2 の形状を調整して重心を合わせ、X 1 ステージと X 2 ステージを現実的なスペースに設置できるかどうか確認します。**図 6** は X 1 ステージと X 2 ステージを水平対向配置したもので、最大 1 m \* 2 m のベース面積上に何とか設置できることがわかりました。

これにより超高速ステージは、同じ質量のものを同一平面同一軸上で対向同期運転させることにより、顕微鏡視野における静止条件 0.2 $\mu$ m 以内を目指すという基本的なアイデアが成り立つことを確信しました。このような機械設計において、3DCAD のソリッドモデラーは極めて有効です。このことはまた別の機会に報告したいと思います。

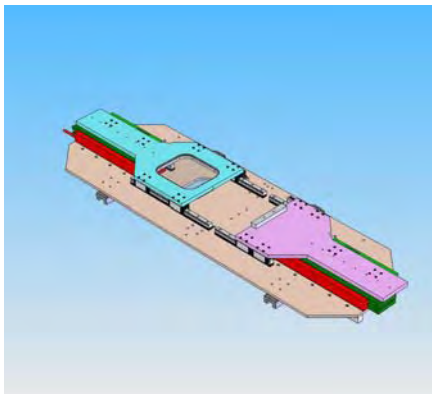
### 7. 超高速ステージ（試作機）の本設計

ラフ・デザインにより水平対向同期運転による超高速ステージは設計上の見通しが立ったので、性能試験を行うための試作機を製作するための本設計にはいりました。試作機の本設計では大型顕微鏡対物レンズや照明光学系を入れた全ての構成要素を入れることは当然ですが、組み立てる部屋の天井が一般の実験室と同じ程度の高さ（2.8m）であることや、基本的な資材搬送の通路、ドアの大きさなどの環境条件も全てクリアすることが必要です。

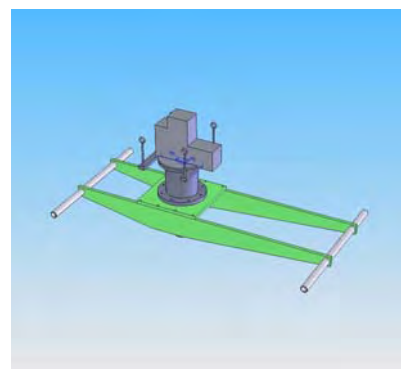
X 軸の超高速ステージは、中抜きの X 1 ステージと対向する X 2 ステージが Y ステージの上に載ります。Y ステージはボールネジとリニアガイドによるメカニカルステージです。大型対物レンズは CCD とあわせて 80Kg であり、これを上下に 10mm ほど駆動するメカニズムが必要です。これを Z ステージと呼び、全体を支える定盤（1 m x 2 m）の四隅に立てた支柱の中にボールネジとリニアガイドによる駆動機構を設け、4 軸を同期駆動します。大型対物レンズを支える構造を **図 7** に示します。



**図 5、X 1 ステージのイメージ**

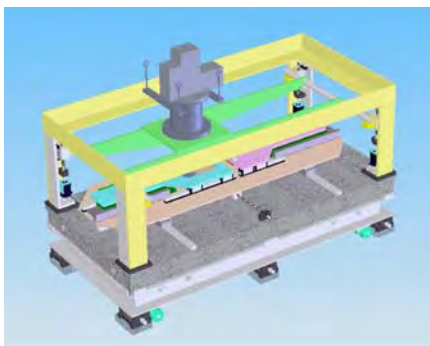


**図 6、X 1、X 2 の水平対向配置**

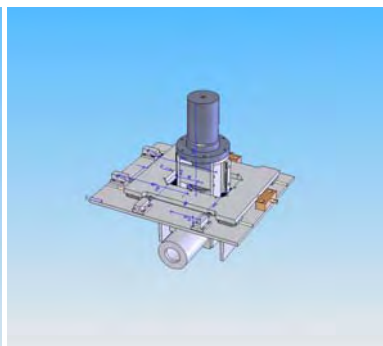


**図 7、大型対物レンズを支える構造**

照明光学系は、これを定盤の架台の中に収めるため、途中で 90° 折り曲げる光学系として設計していただきました。さらに、顕微鏡対物レンズとの光軸を合わせるための微調整機構が必要であることから、薄型水平 2 軸のメカニカルステージを構成しています。さらに、原子核乾板交換作業時には Y ステージと干渉しないよう照明光学系を 80mm ほど下げる必要があります。これらを全て組み込んだものを **図 8** に、照明光学系と微動機構を **図 9** に示します。



**図 8. 超高速ステージの全体イメージ**



**図 9. 照明光学系と微動機構**



**写真 7. 納入された対物レンズ**

試作する超高速ステージは総重量 1.3 t、1 m x 2 m の定盤上面を基準面としてその上下に必要な構成要素を配置する形状です。基準面となる定盤の重量は 600Kg、架台は 200Kg、対物レンズ 80Kg、対物レンズを支える構造 150Kg など、全て重量物です。**写真 7** は納入された大型対物レンズです。多数の CCD も取り付けられており、光学調整の非常に微妙な装置になっています。これらを安全に取り扱うために 1 t の移動式クレーン (**写真 8**) を準備しました。

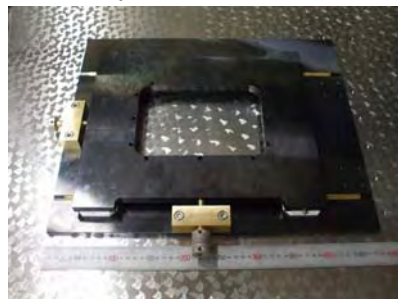
超高速ステージは、現在組み立て作業に入っています。**写真 9～13** は組立作業の様子です。



**写真 8. 組立用の移動式クレーン (1t)**



**写真 9. Z 軸の支柱を立てる**



**写真 10. 照明光学系の微動機構**



**写真 11. 大型対物レンズの架台組立**



**写真 12. Y ステージの天板**



**写真 13. 組立スペース全景**

## 8. まとめ

5mm を 0.02sec で移動、静止 0.08sec、これを繰り返すという超高速ステージは機械系技術者にとっては理不尽とも思える極端な仕様です。それを今回は水平対向同期駆動というアイデアによってどこまで目標に近づけられるかというのが技術者としての挑戦であり、リスクを伴う技術開発ですが、そこが面白いところでもあります。

大学はこのような挑戦的な技術開発に学生たちと共に打ち込めるところであり、失敗を繰り返しながら成長する場であると思います。私たち技術職員はこうした挑戦をしてこそ教育研究に大きく貢献できると考えています。

研究者にとって今後を左右するような大きな技術開発を、我々技術職員に委ねてもらえることに誇りを持ちたいと思います。