

超高速カメラに関する研究 (第 2 報)

—MLD-3 型超高速カメラ—

植 村 恒 義

先に発表したドラム式と回転反射鏡式の長所を組み合わせた新しい方式による超高速カメラ MLD-1 型 (最高毎秒 12 万駒, 連続 200 駒), MLD-2 型 (最高毎秒 24 万駒, 連続 200 駒) をもとに本格的設計と性能向上により, 毎秒 50 万ないし 100 万駒の速度を目標とした MLD-3 型を設計試作した。4 面体回転反射鏡は空気タービン駆動方式とし, フィルム・ドラムを超々ジュラルミンを用いて, 高速回転に耐えるよう設計した。また光学系に改良を加え, 総合明るさをまし, 解像力を向上させた。現在毎秒 51 万駒までの撮影速度をえたが, さらに改善を行ない, 100 万駒/秒以上の撮影速度のものを試作中である。

1. ま え が き

先にドラム式と回転反射鏡式の長所を組み合わせた新しい方式の超高速カメラとして, モデル的試作カメラ^{1),2)} MLD-1 型 (最高毎秒 12 万駒, 連続 200 駒, リレー・レンズ 20 個使用), MLD-2 型 (最高毎秒 24 万駒, 連続 200 駒, リレー・レンズ 40 個使用) を報告したが, その後同じ原理を用いて, 本格的設計と性能向上により, 毎秒 50 万駒ないし 100 万駒の撮影速度を目標とした MLD-3 型カメラ^{3),4)} を設計試作し, 目下性能試験中であるので, その構造, 性能などの概要を報告する。

カメラの光学系の原理は 2 型とはほぼ同一であるが, 4 面体回転反射鏡は空気またはヘリウムガスを用いるタービン駆動方式をとり, 20 万~40 万 r.p.m. の回転を出す。フィルム・ドラムは超々ジュラルミンを用いて高速回転に耐えるように設計した。また光学系に改良を加え, 総合明るさをまし, 解像力の向上を計った。現在までに毎秒 51 万駒までの撮影速度をえたが, さらに改善を加えて 100 万駒/秒以上の撮影速度を得るよう研究中である。

本カメラの試作研究は東洋レーヨン科学技術研究助成金による「高エネルギー速度加工の基礎および応用に関する研究」(主任東大航空研究所長福井伸二教授) の研究班の一員として行なったものである。

2. 原理および性能

MLD-3 型超高速カメラの原理は回転反射鏡式とドラム式の長所を組み合わせた方式で, 既報の MLD-2 型超高速カメラとはほぼ同じであるが, 次の諸点の改良, 性能向上を行なった。

- (1) MLD-1, 2 型はモデル的試作機であったが, 3 型では本格的な設計を行ない, 4 面体回転反射鏡をタービン駆動とし, 毎秒 50 万~100 万駒の撮影速度を目標とした。
- (2) フィルム・ドラムは高速回転に耐えるよう, 超々ジュラルミンを使用し, 特殊な形状をえらんだ。
- (3) 光学系の改良を行ない, 総合明るさを 2 型の f :

9 を $f:8$ に向上させた。またリレー・レンズ系に焦点距離 300 mm と 150 mm の二組のレンズを用い平行部をもうけ, 微調整を可能とし, また軸方向にフィルム・ドラムを移動させ, スパイラル状に撮影して, 連続撮影駒数を 2,000 駒以上になる方式にも使用できるようにした。

- (4) カメラ本体の形状を円筒と円板の組み合わせの構造にして加工を容易にした。

MLD-3 型超高速カメラのおもな性能諸元は次の通りである。

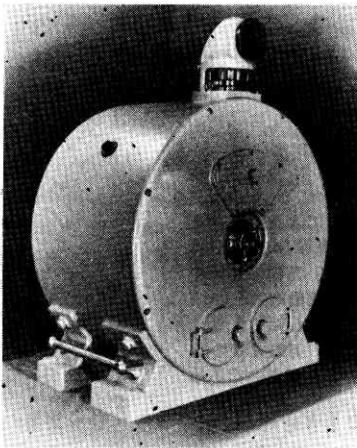
- | | |
|----------------|---------------------------|
| (1) 最高撮影速度 | 50 万駒/秒以上 |
| (2) 1 駒の最少露出時間 | 0.2 μ 秒以下 |
| (3) 明るさ | 最大 $f:8$ |
| (4) 画面寸法 | 15×5 (mm) |
| (5) 撮影駒数 | 連続 200 駒 |
| (6) 使用フィルム | 35 mm 標準フィルム |
| (7) フィルム長さ | 2,000 mm (有効長さ 1,000 mm) |
| (8) 解像力 | 50 本/mm |
| (9) 回転反射鏡の駆動 | タービン (空気またはヘリウム使用) |
| (10) ドラムの駆動 | A.C. シリーズ・モータ |
| (11) 装置寸法 | 横 770×縦 760×高さ 1,000 (mm) |
| (12) 装置重量 | 280 kg |

第 1 図に装置の外観, 第 2 図に内部構造を示す。

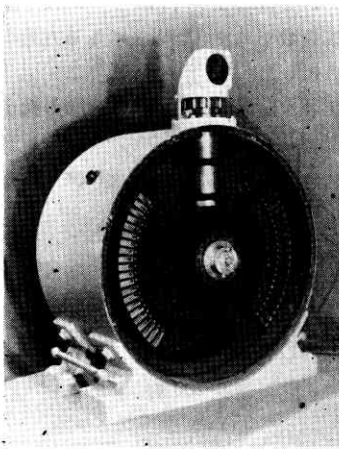
3. 特 長

この装置の特長を列挙すれば次の通りである。

- (1) 連続撮影方式になっており, 現象がいつ発生しても 40 個の第 2 レンズ群のどれかに必ず捕捉され, カメラと現象の同期は必要なく, どんな現象でも確実にとらえることができる。
- (2) フィルム・ドラムと回転反射鏡を組み合わせることにより, 40 個の第 2 レンズ群を用いて, 連続 200 駒の撮影が可能である。
- (3) 第 2 レンズ群により, 4 面体回転反射鏡面の第 1



第1図 MLD-3 型超高速カメラの外観



第2図 カメラの内部構造

また斜めの方向でも、細長い 15×5(mm) の画面に有効におさめることができる。

(6) 装置は比較的小型・軽量で操作が容易である。

(7) 撮影結果を再編集すれば連続 200 駒の映画にでき、映写機でスクリーン上に映写して高速現象を緩速度で再現して見ることができる。

これらの点が本カメラのほかに類を見ない特長である。

4. 光学系の配置および作用

光学系諸元および配置は 4 面体回転反射鏡と第 2 レンズ群を除けば、MLD-2 型超高速カメラとほとんど同一である。4 面体回転反射鏡は 16×30 (mm) の反射面をもちタービンで回転する。第 2 レンズ群は調整を容易にし各駒の倍率を一定にするため焦点距離 300 mm の第 2 レンズ (L_2) と焦点距離 150 mm の第 3 レンズ (L_3) を組み合わせて使用した。光路を折り曲げるため MLD-2 型超高速カメラではアルミニウムスパッタを施した表面反射鏡を使ったが、反射面の腐食および取付け困難などの欠陥があるため MLD-3 型超高速カメラで

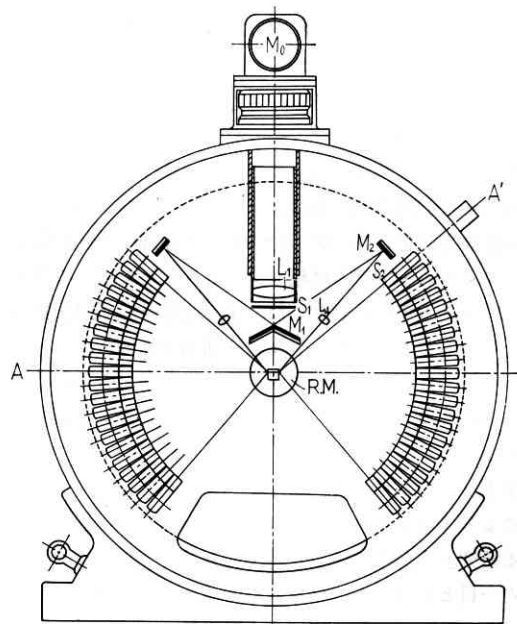
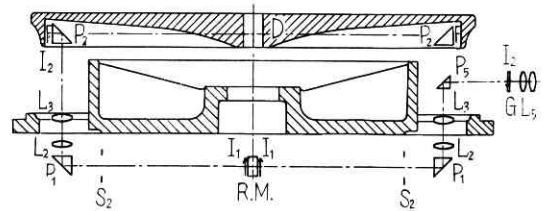
実像を 1/2 に縮小してフィルム上に結像しているので、明るさは $f:8$ になり、解像力も約 50 本/mm の性能をもっている。

(4) 第 2 レンズ群に適当な間隔でキャップをかぶせることにより、1 駒の露出時間は長くせず最小値に保ったまま、撮影速度のみを減少させることができる。その際も連続撮影駒数は変化しないので撮影可能な時間範囲を増大させることができる。

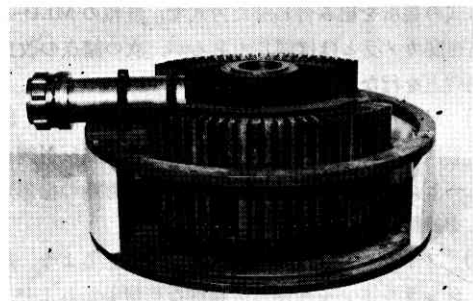
(5) カメラの頂上の反射鏡 (M_0) を任意の方向に向けることにより、撮影被写体の視野が縦長あるいは横

は反射率の良い直角プリズムを取り付けた。第 3 図は光学系の概要、第 4 図に光学系の構造を示す。光学系は対物レンズ (L_1) と集光レンズ (L_4) で 4 面体回転反射鏡の反射面より約 3 mm はなれた空間に第 1 実像 (I_1) を結像する。これは回転反射鏡 (R.M.) の反射面より第 1 実像までの光学的この長さ、ドラムの回転中心からフィルムに至る距離を 1:100 の比率にしてある。このようにして像とフィルムとの移動速度ならびに方向を完全に一致させることができ、露出時間中像はフィルム面上で相対的に静止するようになっている。回転反射鏡を中

断面 A-A'



第3図 光学系の概要



第4図 光学系の構造

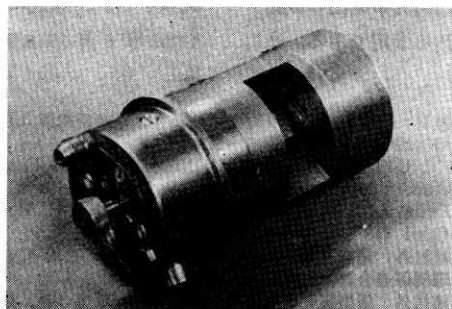
心に第2レンズ群は左右対称に合計 40 個ある。回転反射鏡で反射した光束は第1プリズム (P_1) で直角に屈折させ、第2レンズ (L_2) および第3レンズ (L_3) を通過して第2プリズム (P_2) でさらに直角に屈折させフィルム (F) 上に第1実像 (I_1) を $1/2$ に縮小した第2実像 (I_2) を結像する。なお第1レンズは交換が可能で、焦点距離 700 mm, 600 mm, 525 mm のレンズがあり、広範囲の撮影が可能である。第4レンズ (L_4) は光量を有効に利用するための集光レンズである。4 面体回転反射鏡の $1/4$ 回転で 40 駒撮影され各駒の間隔は 25 mm である。1 駒の大きさは 15×5 (mm) で回転反射鏡 $1/4$ 回転の間にドラム上のフィルムを 5 mm 移動させれば群撮影の方式で各駒間隔にそれぞれ 5 駒撮影でき、その結果連続 200 駒の撮影が可能となる。

回転反射鏡は一辺 16 mm, 長さ 30 mm の角柱でニッケル・クロム・モリブデン鋼第5種で製作され、硬質クロムメッキを施した後、合成樹脂板のラップによる特殊鏡面仕上げを行ない、反射率は 80% 以上で反射面の平面度は全面にわたってニュートリング 2 本以内の精度である。

ピント合せ用のファインダーは第3図に示したように、第2レンズ群の後方にプリズム (P_3) をおいて光束を直角に曲げ、ピントガラス (G) 上に第2実像を結び、さらに接眼レンズ (L_5) で 10 倍に拡大する。ピントガラスにはヘヤーラインで視野が刻んであり、ピント合せおよび被写体の視野を完全に決める。

5. タービン駆動部

回転反射鏡を超高回転させるには小型タービンが有利であり、外国においては毎秒 18,000 回転する超高速度タービンが完成しているが、わが国ではこの分野の技術がまったく開発されていない。筆者は超高速度カメラの回転反射鏡を駆動させるため小型超高速度タービンの必要性を感じ研究室において設計し、プリンス自動車工業株式会社の協力で製作し、回転試験を行なっている。第5図はタービンの外観で、外径 80 mm, 長さ 185 mm の円筒形である。駆動ガスは圧搾空気、窒素およびヘリウムガスを使用するが、ヘリウムガスは最高回転が必要

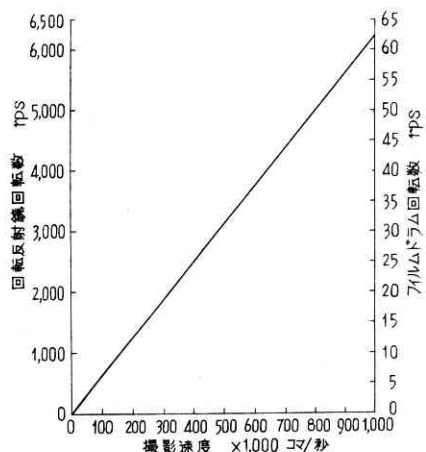


第5図 タービンの外観

な場合だけ使用する。回転反射鏡は最高毎秒 6,000 回転以上を目標としたが、現在までのところ、毎秒 3,150 回転であり、これは毎秒 51 万駒の撮影速度に相当する。現在毎秒 100 万駒以上をねらい改良を加えている。

6. フィルム・ドラム

フィルム・ドラムは内径 637 mm でその内側に、35 mm フィルムを挿入する溝を有する。ドラムの材料は超々ジュラルミン 75S T6 を用いて製作し、高速回転に対するバランスは精密にとってある。フィルム・ドラムの駆動は単相直巻整流子モータの回転を減速歯車で $1/2$ に減速してフィルム・ドラムを回転する。フィルムドラムの回転数は回転反射鏡の $1/100$ の回転数で同期させる。



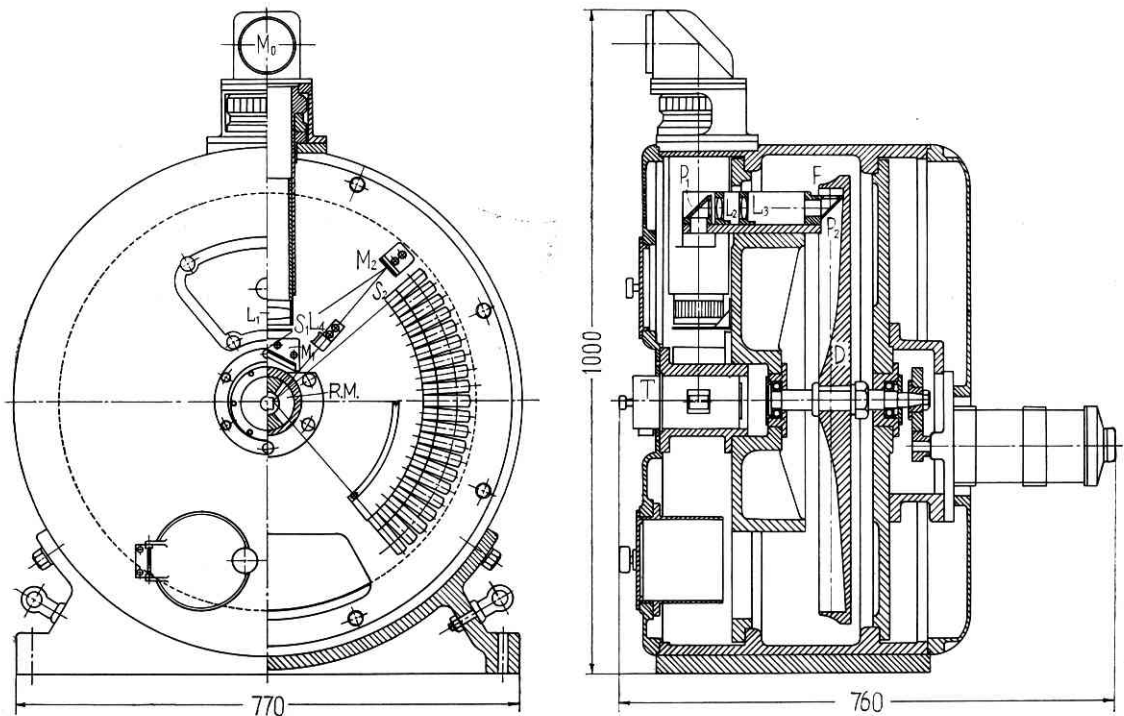
第6図 撮影速度

—タービン回転数—フィルムドラム回転数

すなわち撮影速度毎秒 50 万駒の割合であれば回転反射鏡は毎秒 3,125 回転、フィルム・ドラムは毎秒 31.25 回転である。第6図は撮影速度と回転反射鏡の回転数および撮影速度とフィルム・ドラムの回転数の関係を示す。フィルム・ドラムは毎秒 100 回転以上に十分耐える強度を有する。

7. 機 構

この装置の構造は加工および組立て調整を容易にするため円筒と円板を基に設計した。第7図は装置の構造を示す。装置本体、光学板、台などはアルミ合金鋳物で造り、フィルムを軸方向に移動させるMLD-6型超高速度カメラに改良できる十分な強度と余裕をもっている。光学系の組み込まれた光学板は装置本体にボルトで取り付けられる。光学板にはタービン保持台とフィルム・ドラムの軸受が取り付けられている。光学板の前方に前蓋があり、フィルムの装填および第1レンズの交換ができる穴を有する。タービンは前蓋に関係なく外部から直接着脱が可能で、タービンとタービン保持台は滑りキーで正確な位置を保っている。光学板の後方にモータ取付板があり、フィルム・ドラムのシャフトは光学板とモータ取付板の軸受で支えられ、単相直巻整流子モータの回転数を平衡



第7図 MLD-3 型超高速カメラの構造

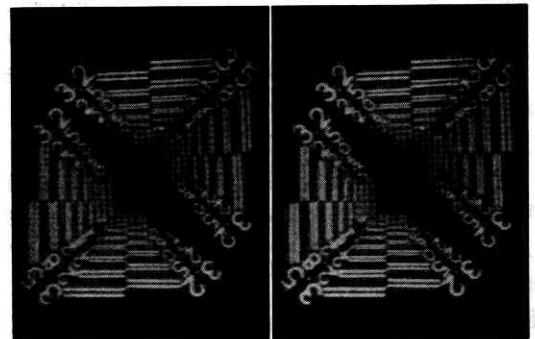
車で $1/2$ に減速して駆動する。フィルムの装填は前蓋に二重の取出し袋が取り付けられており容易に操作できる。なお被写体のピント合せを行なうため、上下に動かす第1レンズの位置を示す目盛は装置の上部にあり、ピント合せを迅速にする。1駒の露出時間を決定する菱形絞りは菱形の穴の形状の異なった4種類があり、1駒あたりの露出時間は撮影速度の逆数の $1/3$, $1/5$, $1/10$ に変えられる。たとえば撮影速度毎秒 50 万駒の場合に、1駒の露出時間は菱形絞りを交換するだけで 0.67μ 秒, 0.40μ 秒, 0.20μ 秒に変えられ、被写体に最も適した菱形絞りを選んで使用できる。菱形絞りの交換は第1菱形絞り (S_1) はビスをゆるめて、また第2菱形絞り (S_2) は絞り板の差変えのみで容易にできる。

8. 撮影結果

第8図は本装置で撮影したテスト・チャートの一部を示す。照明にはキセノン閃光放電管を使用し、透過光で撮影した。撮影倍率はフィルム上で約 $1/15$ 倍であり、解像力は約 50 本/mm である。

9. むすび

終わりにのぞみ、本研究にあたりご援助とご教示をいただいた東京大学航空研究所前所長福井伸二先生に深く感謝するとともに、本カメラの設計試作研究に終始協力していただいた植村研究室の文部教官伊藤寛治氏、技術員黒河喜昭氏、同北原時雄氏に厚く感謝の意を表する。なおカメラの製作にあたり、ひとかたならぬ協力と援助をいただいたプリンス自動車工業株式会社戸田康明部



第8図 撮影結果 (テストチャート)

長、板橋宗雄課長、光学系の製作ならびに調整などで協力いただいた東京光学機械株式会社丸山修治部長、日本光学樹脂研究所谷田部善雄氏、大倉機械製作所大倉与平氏ら関係各位に深く謝意を表する。なお本カメラは最近、新技術開発事業団の開発テーマに採択され、本式に製品化される予定である。(1962年6月25日受理)

文 献

- 1) 植村：超高速カメラに関する研究：生産研究第13巻9号(1961年9月)P. 1~12.
- 2) T. UYEMURA: A New Ultra-High-Speed Framing Camera Combining a Rotating Mirror with a Film Drum J. of S. M. P. T. E. Vol. 70, No. 4, P. 280~283 (1961. 4)
- 3) 植村外：超高速カメラの試作(第4報)第9回応用物理関係連合講演会予稿集, P. 81~82 (1962. 4. 2)
- 4) 植村外：新型超高速カメラの試作研究(第2報)精機学会昭和37年度春季大会学術講演会予稿集, P. 99~100 (1962. 4)