

# 新しいタイプのロードテープの開発

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所

松坂幸彦 吉田哲也

三国産業（株） 山野和猛

井上リボン工業（株） 高橋浩一

## 1. はじめに

大気球の製作には、気球フィルムはもちろんロードテープも必要不可欠な材料である。気球に吊下げられる観測機器重量は、気球の経線方向に取付けたロードテープの強度で保持している。これまで使われてきたロードテープは、伸びの少ないガラスやポリエステルフィラメントを束ねた紐をポリエチレンフィルムでラミネートしたタイプである。紐を複数配置することで、ロードテープ1本当たりの強度を増すことができる。1966年にラミネート型の国産ロードテープが試作された報告[1]があるが、実用化はされていない。現在、このタイプのロードテープは日本にはなく、アメリカからの輸入に頼っている状況である。最近、ケブラー帯紐を使用したラミネート方式のロードテープの開発を進めてきていたが、ラミネート方式の実用化には製作技術や装置の面で難しい点も多かった。今回、細いポリエチレン糸をケブラー紐に編込む方法で試作した、全く新しいタイプのロードテープの開発を行った。ここでは、試作した新しいタイプのロードテープについて報告する。

## 2. 気球のロードテープ

数100kg～1000kgの観測器を飛翔させる大重量気球には、図1に示したガラスやポリエステルのような低伸度の繊維を集めた紐をポリエチレンフィルムでラミネートした形のロードテープが使われる。写真1は実際に使用されるロードテープである。テープにはレーダーヤーンと呼ばれる金属繊維で作られた、0.3mmφ位のしなやかな導電線が入っておりレーダー反射板としての効果がある。図2に示したように、気球はリーフ状のポリエチレンフィルムを熱溶着によってフィルム同士を繋ぎ合わせることで製作される。フィルムの溶着の時、同時にロードテープとプロテクトテープ（ポリエチレン）もフィルムの上下に這わせ、一緒に熱溶着される。従って、気球はリーフ状の2枚の重なったフィルムの一端をロードテープとプロテクトテープで挟んだ形で溶着され、次々同様に貼り合わさった球体となっている。観測器の重量は気球の縦方向に装着したロードテープの強度で保持され、ロードテープの紐の装着本数を多くすればより重い観測器の吊下げが可能となる。従って、ロードテープの気球頭部および尾部での末端処理は気球の強度に極めて重要な部分である。輸入されるロードテープは、強度を2001bs、3001bsといった単位で表示されている。

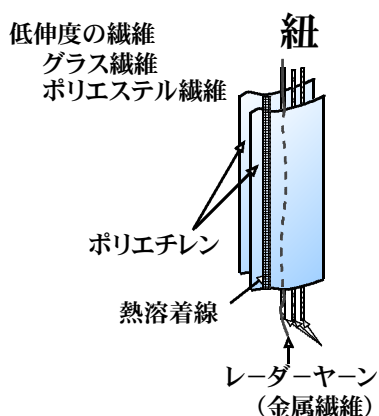


図1 ラミネート型ロードテープ

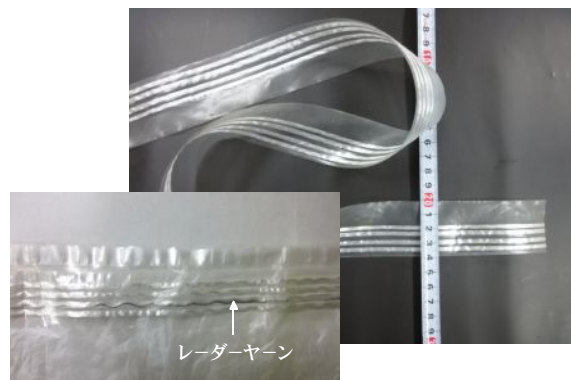


写真1 使用されるロードテープ

### 3. 開発の経過

5年ほど前から、低伸度の繊維としてケブラー繊維を編んで作った帯紐を使い、図3に示した様なラミネートタイプのロードテープの国産化の開発を始めた。ケブラーの帯紐には写真2に示したナスロン(NASLON)と呼ばれる材質がSUS304で太さ0.35mm、ファイバー径 $12\mu\text{m}$ 、張力72N、重量0.33gr/m、破断時の伸び2.2%の金属燃糸(12-100/3)を装着しており、レーダーヤーンとしての作用を持たせている。写真で12-200/3の太さは0.45mm、12-300/3は0.61mmと重量も当然増すことになるが様々な太さのものがある。

試作品の開発まで行ったが、ケブラー帯紐が滑って抜けることが分かった。これは気球フィルムに上下方向でずれが発生してしまうため、このままでは気球用のロードテープとして適さないことがわかり、滑りを無くす対策が必要になった。滑りを無くすために細いポリエチレン糸をケブラー紐に編み込み、ラミネート時にポリエチレン糸を溶かして溶着してしまう方法を検討し新しいケブラー帯紐の試作を行った。同時にケブラー帯紐にナスロンも編み込んでしまうことも検討した。写真3は幅7mmのケブラー帯紐にナスロンおよびポリエチレン糸を編み込んで試作した新しいケブラー帯紐である。写真4は新しいケブラー帯紐を用いて滑りを無くした、ラミネート型のロードテープの試作品である。新しいケブラー帯紐により滑りを無くすことができたが、ポリエチレン糸を編み込むことができることで、これまでのラミネート方式のみを頭に入れたロードテープ製作の考え方は大きく変わったと言える。

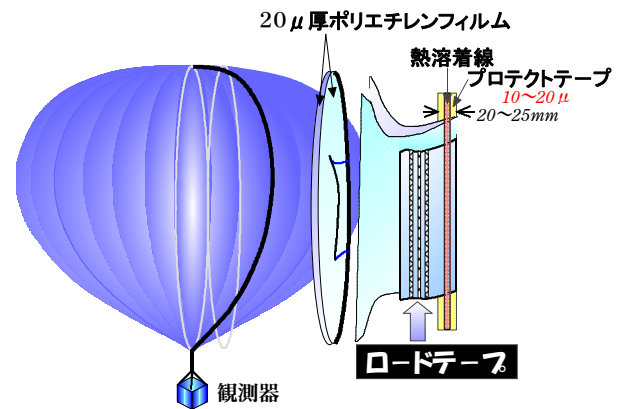


図2 気球の模式図

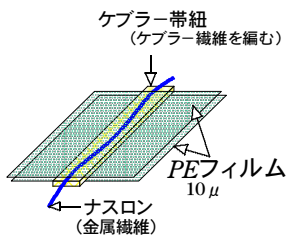


図3 ロードテープの国産化開発

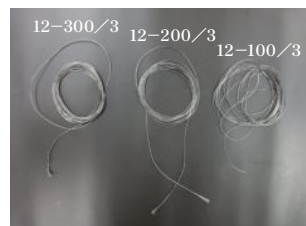


写真2 ナスロン (NASLON)

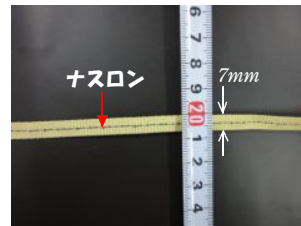


写真3 新しいケブラー帯紐



写真4 新しいケブラー帯紐で試作したロードテープ

図4に新しいケブラー帯紐が試作された後の開発の方向転換を示した。新しいケブラー帯紐ができたことで、2枚のポリエチレンで挟み込む必要はなくなり、片側のみのポリエチレンフィルムを新しいケブラー帯紐に溶着することで作るロードテープも可能となった。さらに図4で最も右側に示されたタイプのように、気球フィルムと一緒に溶着される部分（溶着しろ）をポリエチレン糸のみで編み込んで作るタイプ、つまり布を作るようにケブラー帯紐に糸を編み込む方法でのロードテープの製作も可能と思われ、可能なら最もシンプルでユニークなロードテープとなり、日本独自のロードテープの誕生となることが期待できる。ここから新しいタイプのロードテープの開発を本格的に進めることとなった。織物の機械を使用した新しいロードテープの試作を始めた。

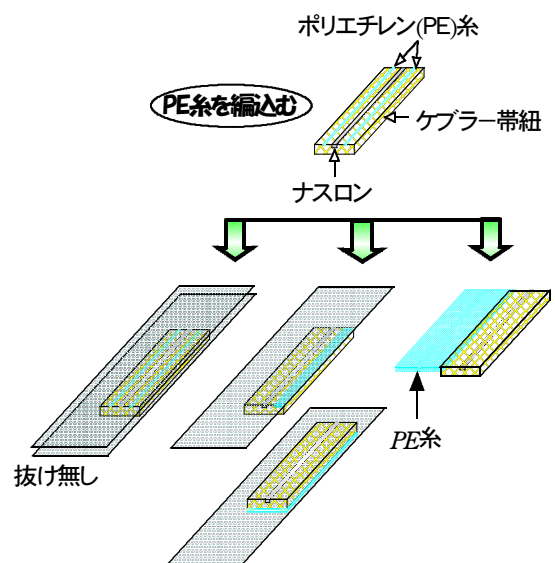


図4 ロードテープ開発の方向転換

## 4. 新しいタイプのロードテープ

### 4.1 ロードテープの試作

試作した新しいロードテープを図5に示した。ケブラー帯紐の幅は7mmとした。帯紐の真ん中にナスロンが組み込まれている。最初にロードテープの幅22mmのものを試作したが、溶着しろが14mmと狭く溶着するのに遊びが無く安定した溶着が難しいことがわかった。このためロードテープの幅を38mm、溶着しろ31mmとして試作を行った。長いロードテープの製作も可能かどうかを確認するため、約170mの長さのものを試作し、特に問題はないことがわかった。この長さのロードテープであれば、これまで日本で放球した最大気球のB500に使用可能である。

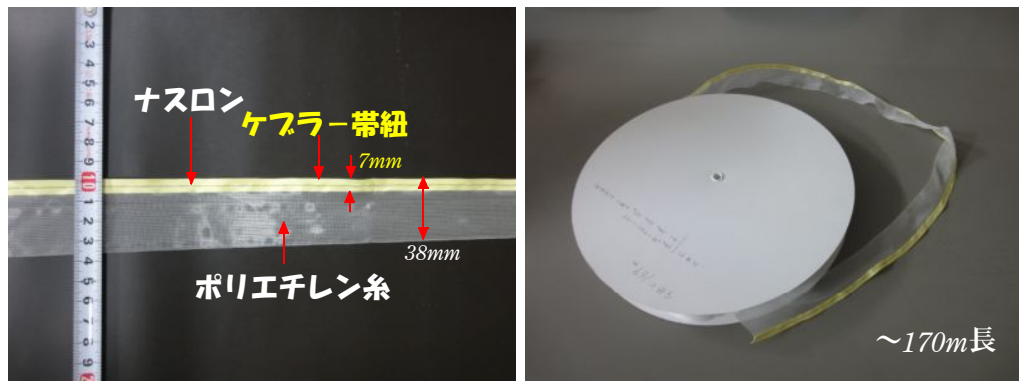


図5 試作した新しいタイプのロードテープ

新しいタイプのロードテープとこれまでのラミネート型ロードテープについて重量比較したものを表1に示した。強度は若干異なるが、強度300lbs（136kg）の従来のロードテープの重量7.5gr/mに対し試作したロードテープは4.15gr/mと軽量であることがわかる。例えば、B100クラスの気球製作をする場合、ロードテープの長さは約100m必要で本数100本とすると気球重量に33kg程度の違いができることになる。大型の気球になればなるほどその差は大きくなりロードテープの軽量化が気球軽量化に繋がる事が理解できる。

表1 重量比較

| 新タイプ        | ラミネート型        |
|-------------|---------------|
| 引張強度：～130kg | 136kg(300lbs) |
| 重量：4.15gr/m | 7.5gr/m       |

写真5は今回試作した新しいタイプのロードテープの製造装置である。織物の機械を使ってロードテープ用にアレンジしている。ケブラー糸、ナスロン、ポリエチレン糸が収束され、機械を使って編み込むことでロードテープが自動で作られている様子がわかる。製作速度は現在のところ～50cm/分である。



写真5 試作した新しいタイプのロードテープの製作装置



## 4.2 ロードテープの構造

図6で左図はケブラー帯紐の構造を、右図は新しいタイプのロードテープの構造を示している。ケブラー帯紐に溶着しを付加するために、縦糸にポリエチレン糸とナスロンを追加し、ケブラー帯紐の横糸を、ポリエチレン糸にしてケブラー糸とナスロン、ポリエチレン糸を編み込んだ構造になっている。ポリエチレン糸は太さ0.1mmで、低密度ポリエチレンで作られており、気球本体フィルムと同じ溶着温度（～140℃程度）である。

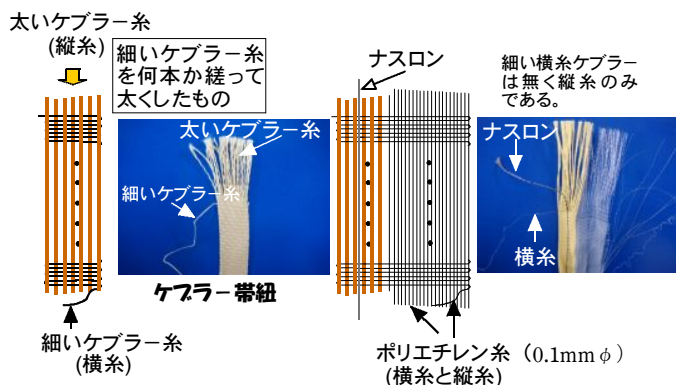


図6 試作した新しいタイプのロードテープ

## 4.3 溶着試験と溶着部の引張試験

新しいタイプのロードテープを用いた溶着試験を行った。試験は溶着部の強度試験のためのサンプル取得の他に、従来のラミネート型のロードテープと同じ様に溶着機への自動挿入が可能か、操作性や作業性に問題が無いかどうかを確認する目的で行われた。この結果、操作性や作業性には問題は無く従来のロードテープより操作性や扱いが容易であることがわかった。図7は厚さ20μmの2枚のポリエチレンの両側を溶着した写真で、溶着部の拡大部も示してある。

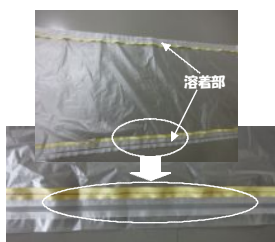


図7 溶着試験と溶着部



図8 溶着部の強度試験サンプル

溶着部の引張試験を行うために、図8の様に幅2cmのサンプルを適当に離れた位置で切り取り、3サンプルの平均で強度を測定した。引張試験機はストログラフ試験機を使用した。結果を表2に示した。フィルム単体の強度は常温で6.35N/cmである。溶着温度は4設定としてサンプルを作った。結果から、現用ロードテープは138℃で5.9N/cmであるのに対して半分以下の強度であることがわかる。従来の溶着温度である138℃付近が最も強度が大きいが、強度が半分になっている原因としては、編み込みによるメッシュ構造により溶着部に鋸歯状のギザギザができ、強度の低下を引き起こしていることが考えられるが、詳細については今後の検討課題としたい。

表2 溶着部引張強度

| 藤倉航装(株)提供データ | 溶着温度     |          |          |          |          |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|              | 20℃      | 129℃     | 138℃     | 142℃     | 149℃     |
| 気球フィルム       | 6.35N/cm |          |          |          |          |
| 現用ロードテープ     |          |          | 5.90N/cm |          |          |
| 新しいタイプ       |          | 2.75N/cm | 3.0N/cm  | 2.95N/cm | 2.55N/cm |

## 5. おわりに

従来のラミネート型のロードテープに代わる編み込み方式の新しいタイプのロードテープの開発を進めてきた。ロードテープが日本古来の織物機で作れることも極めてユニークであり、国産化に向けた開発に目処が立ったと考えている。気球を製作する上で、最適なロードテープの製作も可能で、また気球の頭部や尾部処理についてもより安全性の高い新しい処理方法も期待できる。まだ克服すべき課題もあるが、開発を進め実用化を目指す所存である。

## 参考文献

[1]岡本 智：「気球補強材」、東京大学宇宙航空研究所報告、第2巻第1号（C）、1966年3月