

消防活動用の光るロープの研究開発

吉村 延雄*, 菱山 正樹**, 山崎 保志*, 野村 敏幸***, 加藤 俊之*

概要

現在、消防活動で使用しているロープはナイロン製三つ打ちロープとなっている。しかし、暗い場所での消防活動時には全く識別することができない。特に、人命検索活動時の確保ロープとして使用する場合、発光性があると、暗い場所でも進入経路、進入場所が確認でき、かつ、退路等も確保され、安全管理上有効である。

このことから、警防部の要請に基づき、現在使用しているナイロンロープと同等の強度と操作性を有し、暗い場所において長時間視認可能な消防活動用ロープの研究開発を行った。

試作したロープについては、各種試験及び使用調査を実施し、次のような結果を得た。

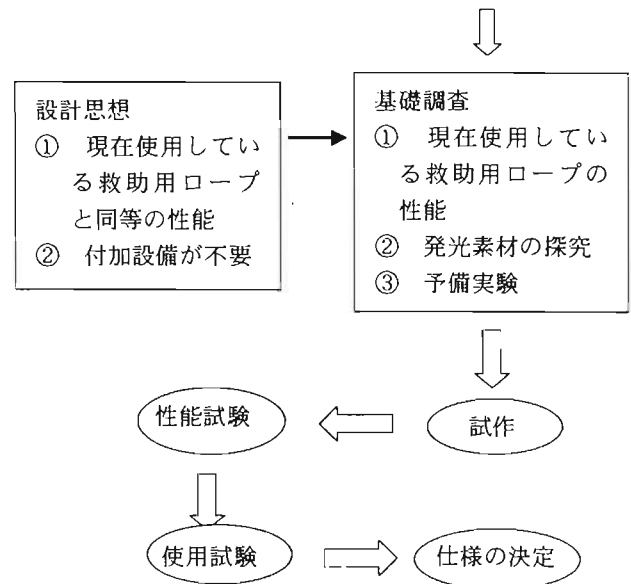
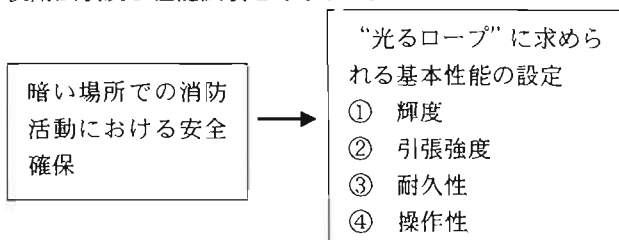
- 1 現在使用しているナイロンロープに、アルミン酸ストロンチウムを主成分とする蓄光顔料を含有したナイロン繊維をヤーン状に3～5本編み込むことによって、強度と発光性能を持たせることができた。
- 2 わずかな照射時間で長時間視認できる発光性能が認められ、暗所でのロープの所在、結索状態が確認できた。
- 3 消防活動での使用に伴う水濡れや汚損に伴う洗浄等による発光性能等の劣化は認められない。

1 はじめに

火災現場や救助活動現場などで使用するロープが暗いところや夜間で“光り”、ロープとして識別できれば、より迅速、確実な消防活動や救助が可能となり、かつ活動の安全性が一層向上することが期待できる。“光るロープ”の発想は既存のものであるが、消防活動現場で求められる機械的性能を備えたものは実用化されていない状況にある。ロープに発光性能を持っているとは言え、消防活動用ロープである以上、(1)ロープの強度低下を伴わないこと、(2)操作性や維持管理の簡便性を備えていること、が前提となる。これらの現実的な条件を踏まえつつ、必要な輝度を確保するための基本性能や技術的手法について検討してきた結果、今回、実用性の高いロープを試作することができたので、これまでの研究内容について紹介する。

2 研究開発フロー

次のような各段階での分析、検討を経て試作を行い、使用試験及び性能試験を行なった。



3 基本性能の検討

消防活動用ロープに暗所でも識別できる性能を持たせるには、現在使用している消防活動用ロープ（以下「現用ロープ」という。）と同等の機械的性能を有し、現場での使用条件を考慮した光学的性能を備える必要がある。

このことから、基本性能として表1のような設定を行った。

表1 基本性能

項 目		設 定 値 等
機 械 的 性 能	現用ロープの性能	
	質 量	17.7 kg±5% (200mあたり)
	材 質	ナイロン
	太 さ	12mm
	構 造	三つ打ち
	引張強度	29.0kN 以上
光 学 的 性 能	操作性 (硬さ)	現用ロープと同程度の操作性(硬さ)を有すること。
	視認性	0.3mcd/m ² *以上の輝度を2時間程度持続できること。
	維持管理の 簡便性	災害出場時には迅速に使用可能な状態となり、かつ使用前、使用後に煩雑な点検を要しないこと。

* 視認性については、ドイツ工業規格(DIN67510)で人間の目が視認できる程度とされている0.3mcd/m²を設定値とした。

4 基礎調査

(1) 現在使用している一般救助用ロープの性能等(東京消防庁仕様)

- ア 材質 ナイロン
イ 構成 三つ打ち、Zより
ウ 引張強度 29.0kN 以上

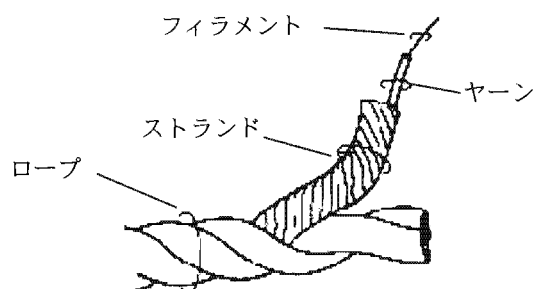


図1 三つ打ちロープの構造 (ストランド3本)

(2) 発光素材等の調査

① ロープ素材

現在、ロープ状で発光性を有するものには、電気的に発光させる電気式と蓄光素材を用い光の照射で励起させ、その残光を利用する蓄光式がある。

現在使用している救助用ロープの材質であるナイロン繊維は、破断力及び耐衝撃力は他の繊維よりも強く、救助用ロープの素材として最も適している。これは、引張強度と伸び率が大きく、復元力が優れているため人間の身体に加わる衝撃を緩和しやすいためである。

このように、ナイロン繊維は救助用ロープに適している以上、使用する発光素材はナイロン繊維との整合性、特に引張強度及び伸び率とロープ全体としての操作性を十分考慮しなければならない。

② 発光方法

ア 電気式の特徴

(7) 暗い場所で識別するには良好な光を発する。

(i) 構造は、LED・光ファイバー等の発光素材をポリ塩化ビニール等の樹脂で被覆し、内部に金属製の配線をしたものである。

(ii) 配線及び樹脂被覆の引張強度と伸び率はナイロン繊維よりかなり低く、ロープに組み込む過程で整合性に問題がある。

(i) 引張りやキンク等によって電気配線が1ヶ所でも破断すると、全体の発光機能を失う。

(ii) バッテリーまたはアダプター等の電源が必要であるため、災害現場でのロープとしての操作性に著しく支障をきたす。

イ 蓄光式の特徴

(7) 蓄光顔料等をロープに塗布又は練り込みによりロープ自身を発光させる。

(i) 自然光のみならず、蛍光灯のような一般的な照明器具で光を照射することで光を発する。

(ii) 繊維状では、既存のものでポリエチレン製モノフィラメント(太い1本の糸)があるが、現在使用している救助用ロープのナイロン製マルチフィラメント(複数の細い糸を束ねたもの)に比べ硬いため、操作性は期待できない。

(i) 蓄光顔料として知られているアルミン酸ストロンチウム($\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu, Dy}$)は、従来の硫化亜鉛($\text{ZnS}:\text{Cu}$)と比較すると酸化物のため自然界で安定し、紫外線等による分解も少なく耐久性も高い。また、放射性や毒性はなく、輝度が高く残光時間が長いことなどが特長として挙げられる。

ウ 蓄光素材の決定

前ア、イについて総合的に検討した結果、救助用ロープに必要な引張強度、伸び率、耐久性、災害現場での操作性を確保するためには、ナイロン製マルチフィラメントに蓄光顔料を含有させる事とし、蓄光顔料を含有させたナイロン繊維をロープの全体または一部に使用することが妥当であると判断した。

(3) 予備実験

発光素材の調査結果に基づき選定した、アルミン酸ストロンチウムをベースとした蓄光顔料を含有するナイロンマルチフィラメントについて、性能特性を把握するとともに、効果的に編み込む手法等を検討するため、りん光輝度、残光時間及び視認性等の予備実験を行った。

この結果から、次の事項が確認された。

① 蓄光顔料を含有した蓄光ヤーンは、最大りん光輝度に達する時間が短く、残光輝度も約2時間目視できる輝

度を有しており、消防活動用ロープへの適用性のあることが確認された。

② 消防活動用ロープへの蓄光ヤーンの編み込みについては、蓄光ヤーンの量が多いほど光輝度は高くなる傾向が見られ、さらに蓄光ヤーンをまとめて配列した方が光輝度は高くなることが確認された。しかし、蓄光ヤーンの量が同じ場合には、まとめて配列するよりストランドの外側に均等に配列した方がロープとして識別しやすいことが確認された。

5 試作

(1) 諸元

試作ロープについては、材質はナイロン製、太さは12mm、三つ打ち構造とし、予備試験の結果に基づき、蓄光ヤーンの本数（3本又は5本）と種類（タイプⅠ又はタイプⅡ）との組合せにより図2及び写真1～3のように3通り製作した。

蓄光ヤーンの数（3本又は5本）とした理由については、① 現在、一般的に使用されている救助用ロープの引張強度は38kN程度であり、JISで定める引張強度27.5kNを確保するには、約27%以下の強度低下に抑える必要がある。

② ロープの1つのストランドは、25本のヤーンで構成されており、蓄光顔料を含有させたヤーンの強度を0と見込んだ場合、蓄光ヤーンの量を全ヤーンの27%以下とする必要がある。

①②から、蓄光ヤーンの量は1ストランド当たり5本（25%）以内とすることで27.5kN以上の引張強度が確保できると考えられる。

また、蓄光ヤーンの数（1ストランド当たり1～2本）では、編み込まれた蓄光ヤーンがロープ表面に表れない部分が多くなることから、ロープとして識別しにくいのである。

さらに、1ストランドの外側の15本のヤーンに均等に配列することによって、強度上及び操作性の面からも効果的であることから、蓄光ヤーンの数（3本及び5本）とした。

(2) 蓄光ヤーンの作成

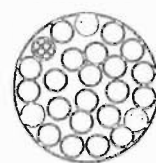
次の二種類の蓄光ヤーンを作成した。

ア タイプⅠ

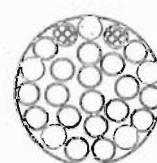
ナイロン繊維にアルミン酸ストロンチウムを主成分とする蓄光顔料を含む樹脂をコーティングし、これを蓄光ヤーンとしたもの。

イ タイプⅡ

アルミン酸ストロンチウムを主成分とした蓄光顔料を含有させたナイロン芯鞘繊維を蓄光ヤーンとしたもの。



蓄光ヤーン 3 本
タイプⅠ又はⅡ



蓄光ヤーン 5 本
タイプⅠ

図2 ストランドの断面

〔凡 例〕

- …ナイロン蓄光ヤーン（淡黄緑色）
- …ナイロンヤーン（白色）
- ⊗ …ナイロン色線ヤーン（タイプⅠ－青色）
（タイプⅡ－赤色）

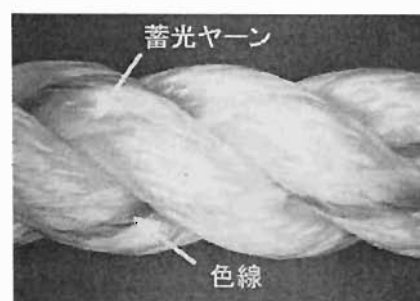


写真1 タイプⅠ（蓄光ヤーン3本）

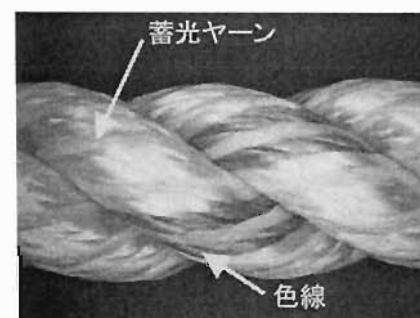


写真2 タイプⅠ（蓄光ヤーン5本）

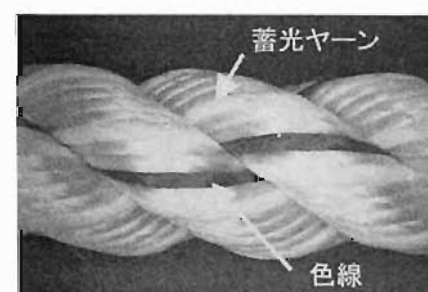


写真3 タイプⅡ（蓄光ヤーン3本）

6 試作ロープの性能試験

(1) 引張強さ

三種類の試作ロープについて、JIS 規格に定める引張強さ試験を行った。三種類のロープとも、規定値 (27.5kN) 以上を有していることが確認できた。さらに、蓄光ヤーン 3 本のものについては、東京消防庁仕様に定める引張強さ (29.0kN) 以上を有していることから、以下の試験は、蓄光ヤーン 3 本のものについて行った。

(2) 質量

試作ロープは、JIS L 2704「ナイロンロープ」(以下「JIS 規格」という。)で定める質量 (12mm のナイロンロープで、200mあたり 17.7 kg±5%) を満たしている。

表 2 引張強さ及び質量

種 別		引張強さ	200mの質量
蓄光ヤーン 3 本	タイプⅠ	30.7 kN	17.7 kg
	タイプⅡ	32.6 kN	17.8 kg
蓄光ヤーン 5 本	タイプⅠ	27.7 kN	18.1 kg
J I S 規格		27.5 kN 以上	17.7 kg ±5%
東京消防庁仕様		29.0 kN 以上	—

(3) 蓄光性能試験

ア 照度調査

蓄光顔料は、光が照射されたことによりエネルギー的に励起され、照射停止後、元のエネルギーレベルに戻る間に発光する性質であることから、消防活動時の使用を考えると常に発光できる状態、すなわち、励起に必要な光を照射しておくことが求められる。このことから、試作ロープの蓄光性能試験を実施するにあたって、消防署におけるロープの収納場所と思われる箇所及び各光源の照度を調査した。その結果は、次のとおりである。

表 3 照度調査結果

場 所 等		照 度 Lx	条 件
屋 外 (直射日光)		101,000～ 103,000	2月中旬 午前10時頃
屋 内 (事務室)		300～750	JIS に示される照度 基準
車 庫 内	床面 (入口付近)	1,130～5,250 (13～400)	調査対象所属： A 消防署本署 B 消防署本署 " C 出張所 " D 出張所 調査時期：10月下旬 天候：晴 () 内は夜間、蛍光灯 使用時を示す。
	ポンプ車内 (前席中央)	480～930 (5～32)	
	防火衣 吊り金具 (入口付近)	190～410 (51～130)	
	投光器 250W	4,250	
投光器 250W		4,250	距離 1m

イ 照射時間と初期りん光輝度

最大輝度に達するまでに要する照射時間について、次のとおり試験を行なった。

(7) 試験方法

試作ロープを暗所に外光を遮断した状態で保管後、常用光源 D₆₅ (蛍光灯) を用いて 50Lx、200Lx 及び 500Lx の明るさでそれぞれ 1～30 分間照射し、照射を止めてから 1 分後の輝度 (りん光輝度) を色彩輝度計で測定した。

照射光源の照度については、昼間はポンプ車内に夜間は防火衣吊り金具に保管することを想定し、前アの調査結果からそれぞれの位置における照度の最低値 (480 Lx 及び 51Lx) を参考とした。

(イ) 結果

輝度が最大に達するまでの照射時間は、500 Lx の場合、タイプⅠで 6 分間、タイプⅡで 7 分間であった。タイプⅠ、タイプⅡとも光源の照度が高いほど最大値に達するまでの時間が短く、初期りん光輝度も高くなる傾向が見られる。(図 3、4 参照)

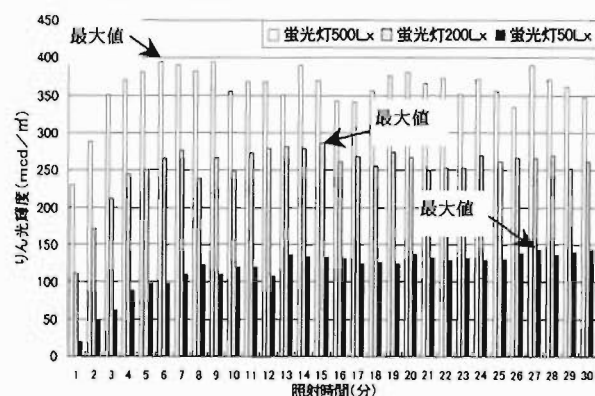


図 3 りん光輝度 (タイプⅠ)

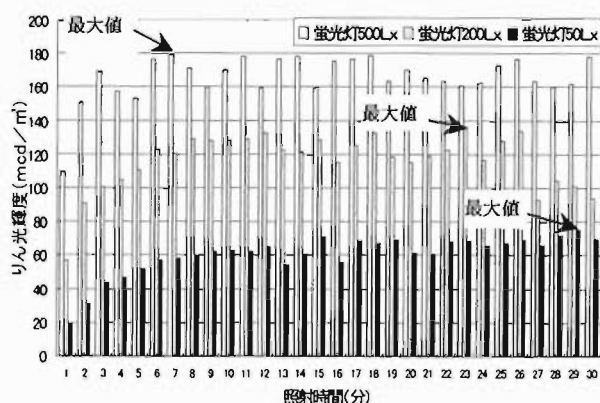


図 4 りん光輝度 (タイプⅡ)

ウ 残光輝度

最大輝度に達した後の輝度の変化について、次のとおり試験を行なった。

(7) 試験方法

試作ロープを暗所に外光を遮断した状態で保管後、蛍光灯 200Lx (JIS K5120「蓄光顔料」のりん光輝度測定に定める光源)、直射日光及びハロゲンランプ (投光器

250w-距離 1m、4,250Lx) を各々照射し、照射停止後の残光輝度を測定した。

照射時間は、蛍光灯 200Lx については、前(3)イの試験結果で輝度が最大値となった時間とし、直射日光及びハロゲンランプについては、いずれも 1 分間とした。

(イ) 結果

各光源とも照射停止後の輝度の低下は大きい、時間の経過とともに緩やかな減少となる。残光輝度の値は、各時間とも直射日光、蛍光灯、ハロゲンランプの順で低くなるが、時間とともに差異は少なくなる傾向が見られる。輝度が 0.3mcd/m² (視認できる最低の輝度) まで低下する時間は、蛍光灯 200Lx の場合、タイプ I で約 400 分間、タイプ II で約 200 分間持続し、基本性能として設定した時間を十分満たしている。また、消防活動時、りん光輝度が低下した場合には投光器の光を 1 分間照射することで継続して使用できるものである。(図 5、6 参照)

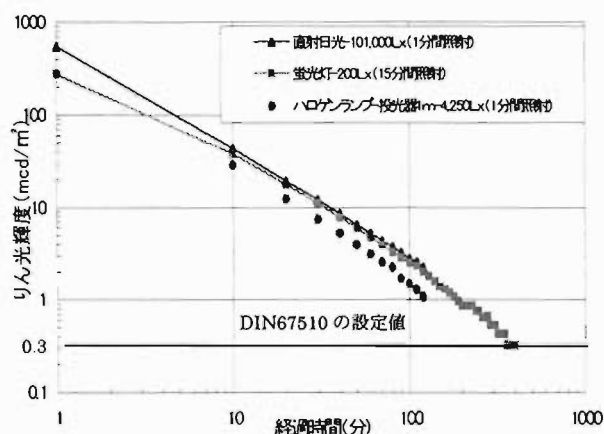


図 5 残光輝度 (タイプ I)

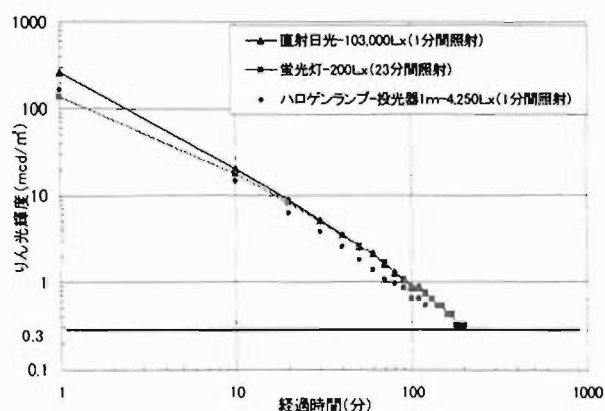


図 6 残光輝度 (タイプ II)

(4) 使用上の影響

ア 水濡れ

消防活動用ロープが火災現場等で水に濡れた場合の影響について試験を行った。

試験は、光を照射した後に水に濡れた場合及び光を照射する前に水に濡れた場合の残光輝度をそれぞれ測定した。

この結果、タイプ I、タイプ II とも、水濡れによるりん光輝度の低下は殆どみられない。また、光を照射した後に水に濡れた場合と照射前に濡れた場合の違いによる差異はみられなかった。

イ 洗浄

消防活動用ロープが汚損し、洗浄した場合の影響について試験を行った。

試験は、試作ロープを繰り返し、洗浄-乾燥を行ったのち、残光輝度を測定した。

この結果、タイプ I、タイプ II とも、洗浄によるりん光輝度の低下は殆どみられない。

ウ 受熱

消防活動用ロープが火災現場で受熱した場合の影響について試験を行った。

試験は、試作ロープを 200℃の電気炉内で加熱したのち、残光輝度を測定した。

200℃で 4 分間以上受熱したロープは、外観上、東京消防庁警防業務安全管理要綱に定める廃棄基準 (リードが伸びてよりが戻った状態) に達し、受熱 3 分間まではよりが戻らず使用可能と考えられる。3 分間受熱したロープは、受熱によるりん光輝度の低下も殆どみられない。(以上、図 7、8 参照)

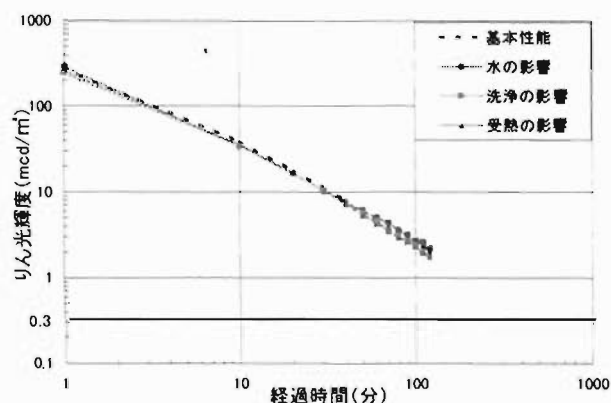


図 7 水・洗浄・受熱の影響 (タイプ I)

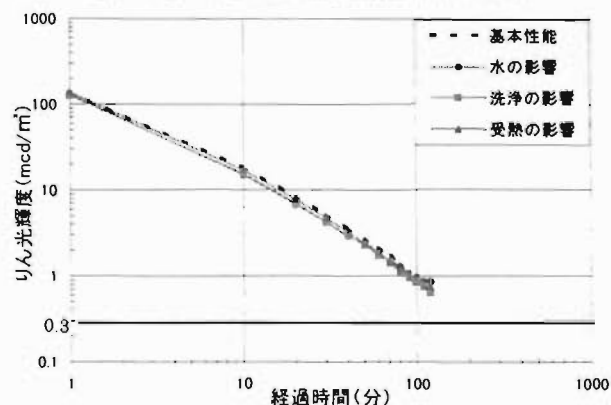


図 8 水・洗浄・受熱の影響 (タイプ II)

エ 耐候性

JIS Z 9107「安全標識板」に定める、蓄光安全標識

板の蓄光性能の耐候性試験方法に準拠し、耐候性試験機による促進暴露試験を次の条件等で行なった。

(7) 試験機

アトラス社製 (Ci-35A) 放射照度制御式ウェザーメーター

(i) 条件

- ・ キセノンランプの定格電力：0.35 k W/m²
- ・ 紫外線波長域：340nm
- ・ ブラックパネル温度：63±3℃
- ・ 相対湿度：50±5%
- ・ 照射及び噴霧の方法：噴霧なし－照射だけ行なう
- ・ 照射時間：400 時間－100 時間ごとにサンプリング (キセノンランプ 300～400 時間照射は、屋外暴露 1 年に相当すると言われる。)

(ii) 結果

タイプⅠ、タイプⅡともキセノンアークランプ照射により若干の低下が見られるが、時間の経過とともに基本性能との差異は少なくなっている。(図 9、10 参照)

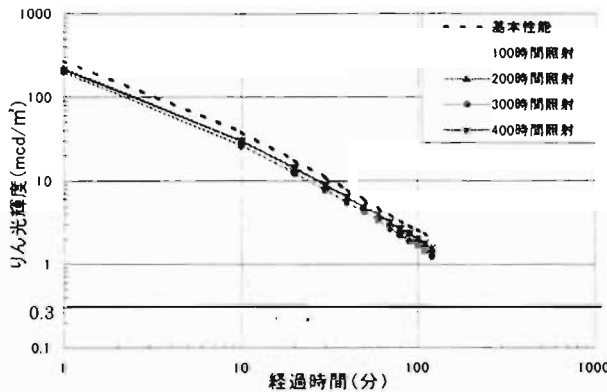


図 9 耐候性 (タイプⅠ)

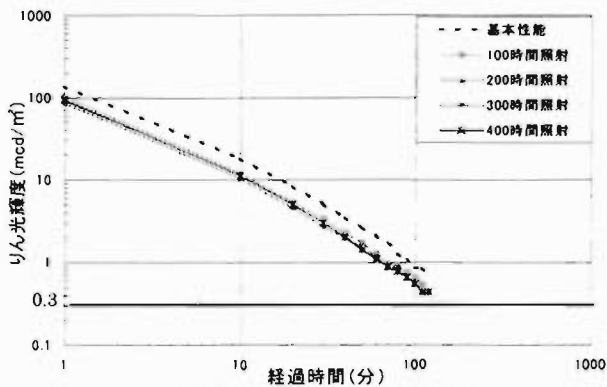


図 10 耐候性 (タイプⅡ)

(5) 硬さ

ア 試験方法

ロープの硬さの測定方法については、現在まで定めたものがないことから、JIS L 1018「メリヤス生地試験方法」に規定する剛軟性試験を応用することにした。カンチレバー型試験機に準拠した試験装置を用いて、試作ロープのほか、硬さの異なる現用ロープについて試験を行った。

試験装置は、図 11 のような一端が 45 度の斜面と水平面をもつ台で、試験は、ロープを水平面上に一端が水平面と斜面の境界線にくるように置き、次にロープを斜面の方向に水平面を滑らせて、ロープの一端が斜面と接したときの水平面上の移動距離を測定することにより行った。

試験は、ロープの中心線を軸として 90 度単位で回転して順次測定し、一種類のロープにつき 4 回実施した。試験結果は、その平均値とした。

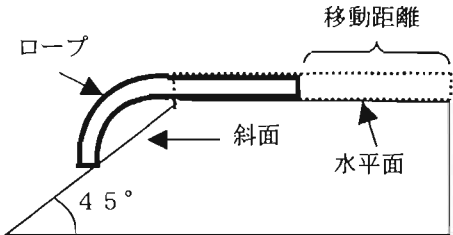


図 11 硬さ試験装置 (側面図)

イ 結果

この試験方法によりロープの硬さを数値化することが可能となった。図 12 のとおり現用ロープについては、メーカー (A 社、B 社) で硬さを各々 4 区分に分けているが、同じ区分のものでもメーカーにより数値が異なることがわかった。試作ロープについては、タイプⅠは A 社製、タイプⅡは B 社製であるが、それぞれ市販ロープの中調程度の硬さであるが、タイプⅠはタイプⅡより硬目に仕上がっている。

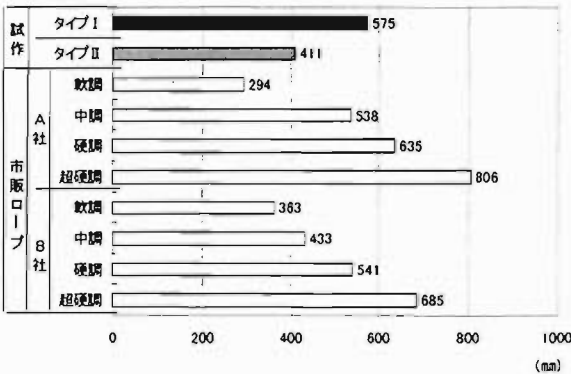


図 12 硬さ試験結果

7 試作ロープの試験的使用と使用後の発光機能等

消防隊員を対象とした試験的使用を実施し、使用後の残光輝度の測定及び引張強度試験を行った。

(1) 実施所属 (合計 10 所属 30 隊)

隊 別	所 属
ポンプ隊	志 村、立 川
特別救助隊	芝 、 渋谷、新 宿、江戸川
水難救助隊	大 森、足 立
山岳救助隊	八王子、奥多摩

(2) 実施期間

1ヶ月間

(3) 使用後の蓄光性能

使用後の蓄光性能について、タイプⅠの中で外観上の汚損が最も著しいロープを用いて残光輝度の測定を行った。この結果、ロープの表面が汚損することによって、蓄光性能の低下が認められるものの、視認可能な時間については、図 13 のとおり基本性能として設定した 0.3 mcd/m^2 の輝度を2時間以上持続している。

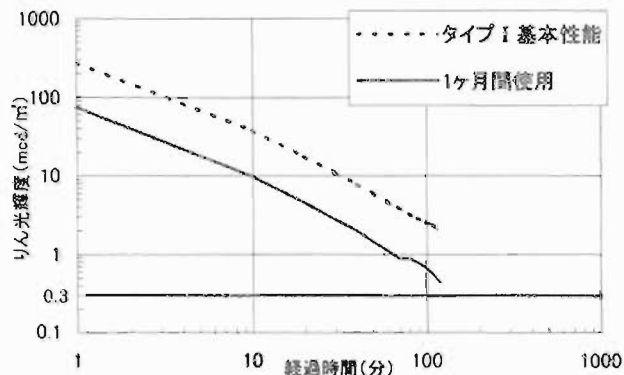


図 13 使用後の残光輝度

(4) 使用後の引張強度

使用後の引張強度は、図 14 のとおり最も低下したものでタイプⅠは 27.1 kN 、タイプⅡは 31.2 kN であり、使用前と比較するとタイプⅠは 88% 、タイプⅡは 96% の残存強度を有している。

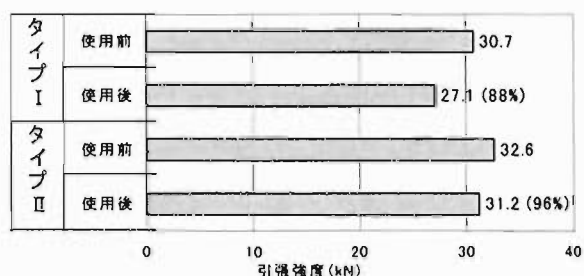


図 14 使用後の引張強度

(5) 使用後の意見等

ア 暗所での視認性について、各タイプとも高い評価が得られた。

イ 硬さについて、タイプⅠは「硬い」との意見が多くみられたが、タイプⅡは、「丁度良い」との意見が多くみられた。試作ロープは、硬さ試験の結果から、それぞれ市販ロープの中調程度の硬さとなっている。ロープの硬さについては、実用段階でさらに柔らかくすることは可能であることから、操作性についても向上されるものである。

ウ その他の主な意見

・ 救助活動現場において、屋外ベランダから暗い建物居室内に進入用ロープとして活用したところ、ロープの

蛍光色が心理的に安心感を与えた。（特別救助隊）

・ 検索活動時、進入隊員の退路が把握でき、ロープ確保者も進入位置が理解しやすい。（特別救助隊）

・ 陸上、水中とも高い視認性が得られた。夜間の水中検索には、特に有効である。（水難救助隊）

・ 転落危険箇所等に展張し、二次災害防止に活用できる。（山岳救助隊）

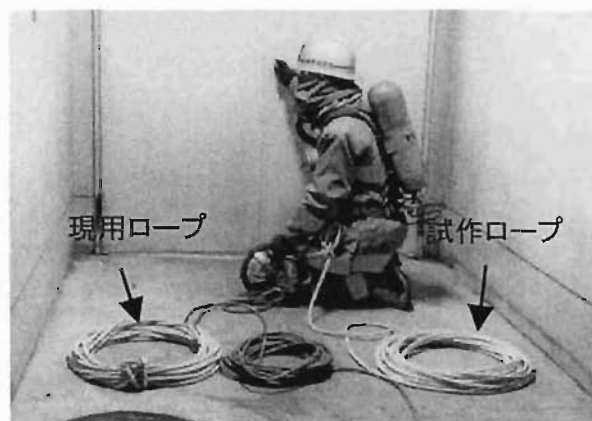


写真 4 検索活動状況

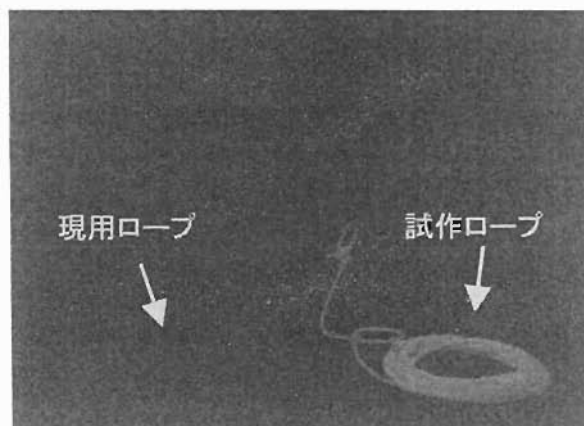


写真 5 暗所における検索活動状況

（写真 4 と同じ状態で暗くした場合）

8 まとめ

今回試作したロープについて、以下の結論を得た。

- ① 自然光や蛍光灯などの光を短時間照射することによって、暗所での消防活動において少なくとも2時間以上十分視認できる発光性能を有している。
- ② 自然光は当然であるが蛍光灯の光でも蓄光するため、車庫等に保管しておくことで使用可能である。
- ③ 投光器のハロゲンランプを短時間（1分程度）照射することで発光機能を有するので、現場での照射による使用も可能である。
- ④ 災害現場や訓練時の使用に伴う水濡れや汚損に伴う洗浄等による蓄光性能への顕著な変化は認められない。

これらのことから、本試作ロープは、消防活動用ロー

ブに求められる性能を備えており、現用ロープと同様に使用できるとともに、現用ロープに“光る”機能が付加されたことによって検索活動時の安全性の向上、活動の効率化が期待できるものであり、消防活動用ロープとして十分実用性を有していることが確認できた。

最後に、試作ロープの試験的使用にご協力をいただいた署員の方々に厚くお礼を申し上げます。

〔参考文献〕

- 1) DIN 67510／1974
Langnachleuchtende Leuchtpigmente
- 2) 村山義彦「新夜光塗料とスクリーン印刷」
日本スクリーン印刷技術協会 1994
- 3) 日本規格協会編・刊
JIS ハンドブック 安全 1998
- 4) 日本規格協会編・刊
JIS ハンドブック 繊維 1998
- 5) 坂庭光夫「感性和自動車材料」 繊維学会誌 Vol 43, No7
(1987)

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A LUMINOUS ROPE FOR FIRE FIGHTING

Nobuo YOSHIMURA*, Masaki HISHIYAMA**, Yasushi YAMAZAKI*

Toshiyuki NOMURA***, Toshiyuki KATO*

Abstract

The three-strikes nylon rope currently used in fire fighting is virtually impossible for fire fighters to see and recognize when working in dark places. A luminous rope would be especially effective in terms of safety management, and could be used to detect and rescue survivors, as firefighters would be able to find their way in, where to go, and their way out, even in the darkest of places.

For these reasons, we had been requested by the Fire Suppression Division to research and develop a rescue rope that could be recognized in the dark for a long time and equal the strength, handiness, and functions of the currently used nylon rope.

We conducted various tests on an experimentally fabricated rope and followed up with research on the trial use of the rope. The results were as follows:

- 1 Three to five nylon fibers containing a phosphorescent pigment, mainly strontium aluminate, were intertwined with the currently used nylon rope to make the rope strong and luminous.
- 2 After a short irradiation, the rope, along with a knot, was found to remain luminescent enough to be recognized in the dark for a long time.
- 3 The luminescence of the rope was not deteriorated when the rope was wet with water during fire fighting or when it was washed.