

# 高速硬化型光ファイバー カラーコーティング材料

High Speed Curing Optical Fiber Color Coating



新事業本部  
技術部  
成瀬圭祐  
Keisuke  
Naruse



AT研究所  
樋口貴祐  
Takahiro  
Higuchi

新技術開発

## 1. はじめに

高度情報化社会の中にあつて、IT（情報技術）の一つとして重要な役割を担う光ファイバーは情報を大量かつ高速で伝送可能なため、著しい需要の伸びを示している。一方で光ファイバー通信網の拡大に伴い品質やコスト面でも年々革新が要求され、光通信ファイバーケーブルの設計においては生産性向上（高速生産、歩留まり）や高密度実装・細径化などが求められている。光ファイバーを構成する材料の一つであるコーティング材料は、従来のガラス保護機能のみならず、前述の技術革新において多機能の役割を担う存在となった。

本稿では、光ファイバーの高速生産に対応するカラーコーティング材料「ゾネ OFC」シリーズの設計と開発について紹介する<sup>1)</sup>。

## 2. 光ファイバーコーティング材料

まず、光ファイバーコーティング材料を説明する上で、その理解を助けるために光通信業界、光ファイバーとその製造方法、光通信ケーブルの構造について説明する。

### 2.1 光通信網

昨今の情報通信技術の進歩は、光ファイバー性能及びその周辺技術の向上によるものであり、インターネットの普及やネットワークによる大容量通信等を代表とするマルチメディア社会を目指した光通信網の拡大に貢献している。図1に光ファイバーケーブルの生産量推移実績<sup>2)</sup>を示す。この実績結果からも近年の光通信網の急激な伸びが判る。また図2には光通信網の構築過程を示す。

### 2.2 光ファイバーの種類

光ファイバーは性能と用途の違いから様々な種類があるが、大別すると「石英系」と「プラスチック系」に分けられる。

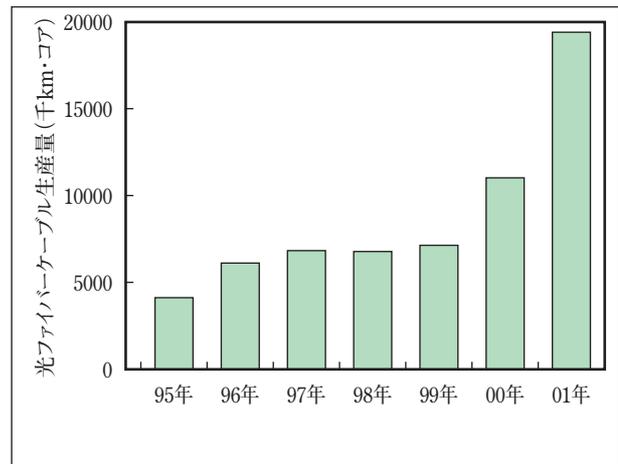


図1 光ファイバーケーブルの生産量推移<sup>2)</sup>

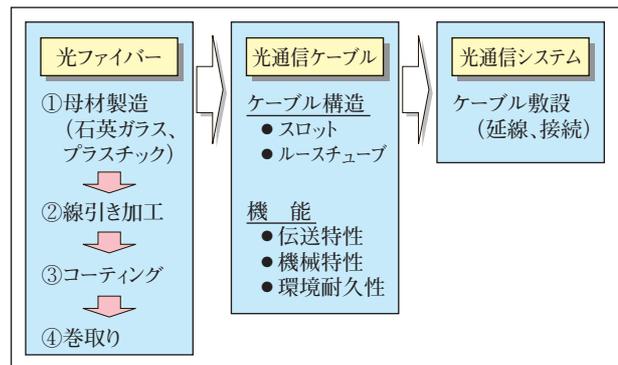


図2 光通信網の構築過程

表1に光ファイバーの種類と特徴を示す。通信・放送における情報伝達の大容量化や幹線から家庭まで光通信網をつなぐFTTH (Fiber To The Home) 構想により、長距離でも大容量通信が可能な石英系ファイバーの使用量が圧倒的に多く、その需要も拡大の一途をたどっている。以下、本稿では石英ガラスファイバーについて述べる。

表1 光ファイバーの種類

種類	通信量	伝送距離	強度	コスト
石英ガラス	大	長	脆弱	高
プラスチック	小	短	強靱	安

### 2.3 光ファイバーの製造

光ファイバーは石英ガラスの母材を加熱溶融しながら直径125 $\mu\text{m}$ の糸状に線引きし、その上にコーティング材料を被覆してポビンに巻き取られる。光ファイバーの製造は、この一連の工程を一括して行う。図3に光ファイバーの製造方法を示す。

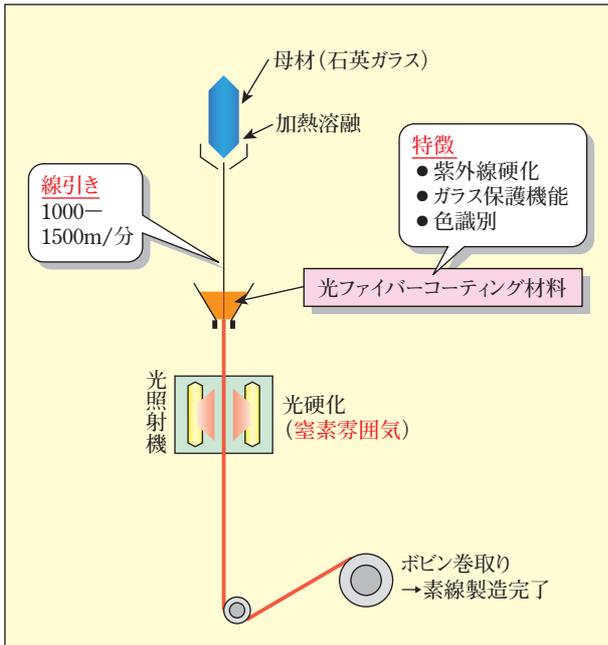


図3 光ファイバーの製造方法

### 2.4 光ファイバーの構造

石英ガラスファイバーはそれ自体が脆弱なため、その周囲に複数のコーティング材料を被覆することで機械的強度を増している。また、光ファイバーの接続時に接点を識別するための着色層もコーティング材料により形成される。これらのコーティング材料は、2~3層を重ね塗りして連続生産するた

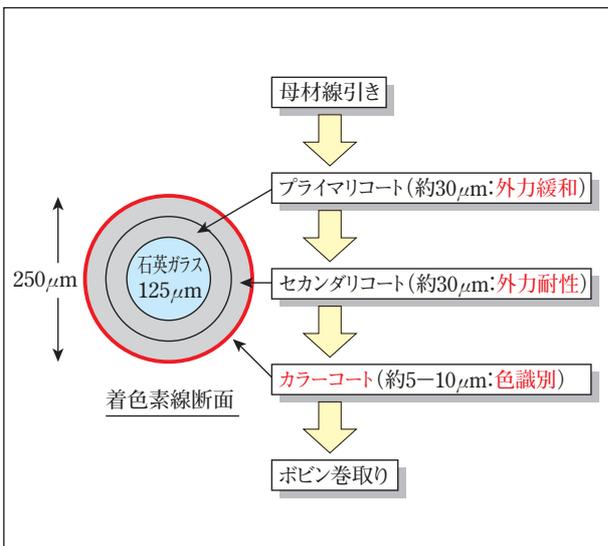


図4 光ファイバーの構造(着色素線の断面)

めに瞬間硬化が必要である。このため、瞬間硬化が可能な光硬化性樹脂がコーティング材料に用いられる。図4に着色層まで形成された光ファイバーの着色素線の構造を示す。

### 2.5 光通信ケーブルの構造

光通信ケーブルは、情報伝達の大容量化と敷設コスト低減に伴い、多芯化、細径化、軽量化による光ファイバーの高密度実装が必要とされている。その主流となるスロット型ケーブルの構造を図5に示す。スロット型ケーブルは、ケーブルの中に切った溝に透明な光硬化性樹脂(テープ層)で着色素線を複数本束ねたテープ心線を多層で落とし込む構造である。これにより、光ファイバーの高密度実装が可能となる。テープ心線のメリットは、光通信ケーブルの延線でケーブル同士を接続する時に光ファイバー複数本を一括接続したり、あるいは必要な光ファイバーを取出して接続(単芯接続)できることにある。図6には光通信ケーブルの接続方法を示し、図7には光ファイバーカラーコーティング材料の要求性能を示す。単芯接続の場合は、テープ心線からテープ層を剥が

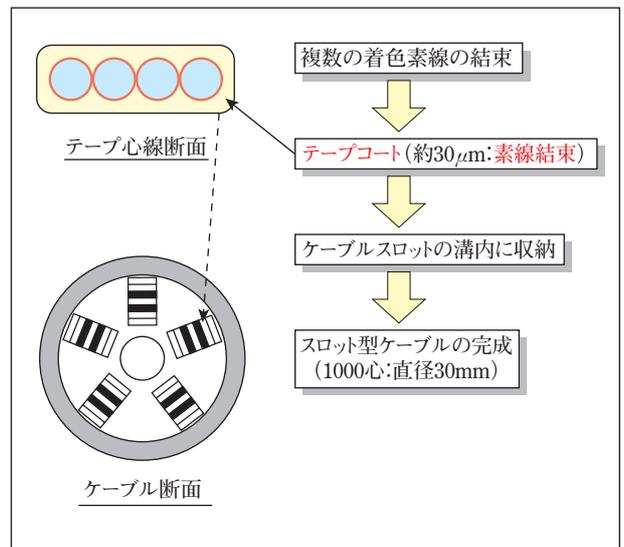


図5 スロット型ケーブルの構造

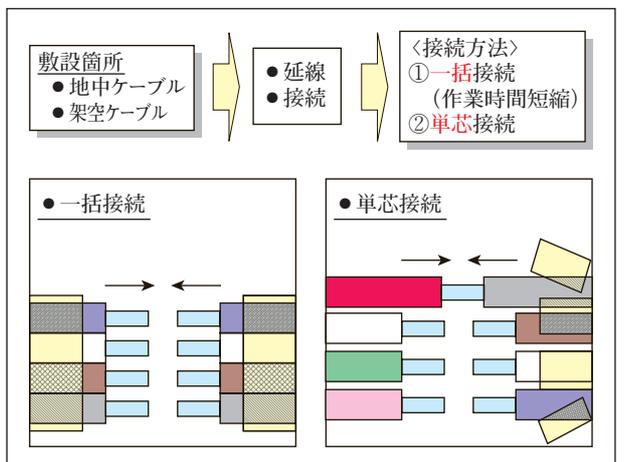


図6 光通信ケーブルの接続

して必要な着色素線を取出すいわゆる単芯分離作業を行う。したがって、テープ層と着色層の間には剥離性能が求められる。光通信システムは、このような光通信ケーブルの特長を活かして構築されている。

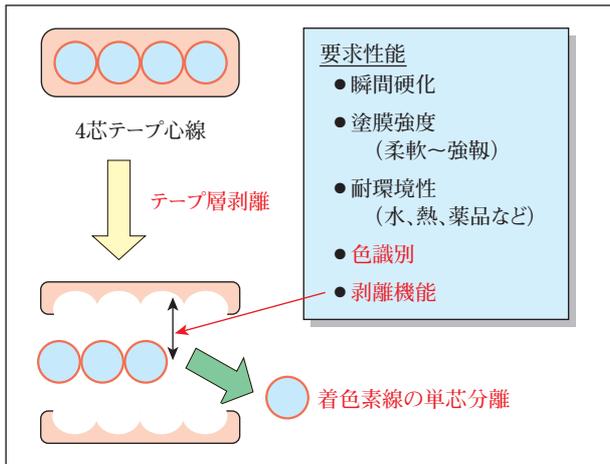


図7 光ファイバークラカラーコーティング材料の要求性能

### 3. 開発の背景

#### 3.1 高速生産への対応

先にも述べたように光通信ケーブルの需要は拡大しているが、通信業界の競争を背景に生産コスト及び敷設コストの低減が目下の課題とされている。その対策として、生産速度の向上、光通信ケーブルの高密度化が挙げられる。表2に、当社の光ファイバークラカラーコーティング材料「ゾンネOFCシリーズ」の技術変遷をまとめた。これからも判るように光ファイバーの着色工程の生産速度は急激に増加しており、生産性の向上に応じたコーティング材料の進化が常に求められている。

表2 「ゾンネOFC」シリーズの技術変遷

年	1980	1985	1990	1995	2000
光ファイバー	UV化	テープ心線化			
線速 (m/分)	200-400		600-1500		1500<
ゾンネOFC	KSU-455	→KSU-423、-433、-435	→新規タイプ		



#### 3.2 高速生産の弊害

特にここ数年においては、高速生産による光ファイバー性能への弊害が指摘されており、従来のコーティング材料ではもはや更なる高速生産への対応が困難となってきた。次に、高速生産により予想される弊害を紹介する。

#### 3.2.1 硬化阻害

高速で光ファイバーを線引きする場合、コーティング材料の塗布面に当たる光照射量が減少する。その結果、塗膜の硬化性は全体的に低下する。また、ラジカル重合タイプの光硬化性樹脂は酸素の存在で硬化が阻害されるため、通常光照射部に窒素ガスを封入して塗布面の酸素を可能な限り排除する工夫が取られている。しかし光ファイバーを高速で線引きすることにより空気の巻き込み量が増加し、さらに窒素置換時間の減少により塗布面上に多量の酸素が残存したまま硬化されるため、表面の硬化が著しく阻害を受ける。図8に高速線引きによるテープ心線への硬化不足の影響を示す。表面硬化が不十分であると着色素線本来の表面滑性が失われ、素線同士の摩擦が高まってポビンへの巻取りが困難になる。

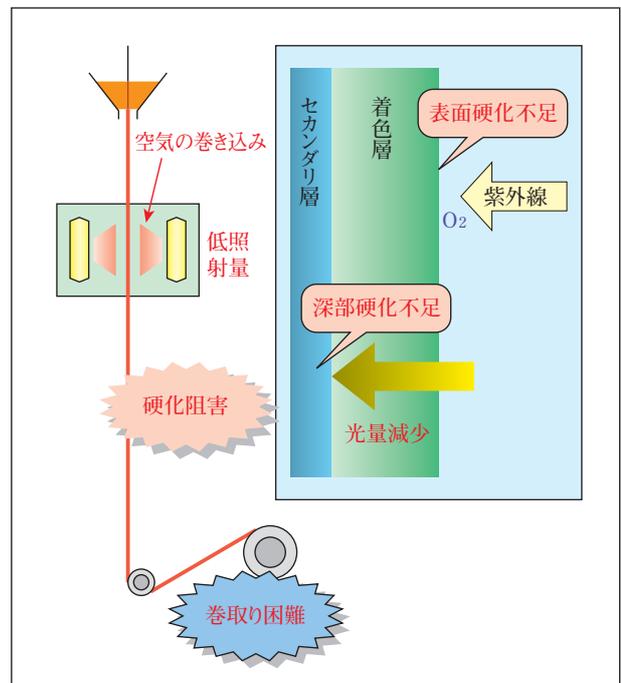


図8 高速線引きによるテープ心線への影響（硬化不足）

#### 3.2.2 テープ心線性能への影響

前述の着色層塗膜の硬化不足が、テープ心線の性能にも影響を与える。ひとつには着色層の表面に未反応二重結合量が多いため、その上にテープ層を形成するとテープ／カラー間の共有結合量が増加して層間密着力が高まり、単芯分離が困難になる。また、テープ心線は温水に長時間浸漬しても伝送損失が微小であることが要求されるが、コーティング材料の各層の硬化が不十分であると温水の浸透速度が高まり、塗膜の未反応成分が溶出して塗面に膨れが生じる。図9に高速線引きによるテープ心線への膨れ現象の影響について示す。この膨れにより発生した側圧が、光を伝達する石英ガラスに歪みをもたらして伝送損失を増加させる要因になると考えられる。

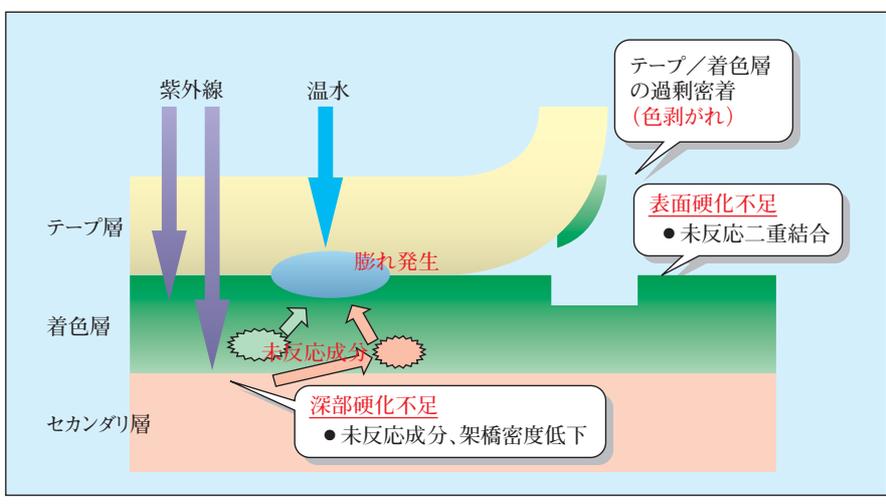


図9 高速線引きによるテープ心線への影響(膨れ現象)

密着力が低下することでテープ層の剥離を容易にすることが出来た。また、高速硬化カラーは温水溶出率が従来カラーより低い値を示し、これは未反応成分が減少していることを示す。言い換えると塗膜全体の硬化性が向上していることから、温水の浸透速度が低下して膨れ発生が抑制されていると考えられる。

上記の高速硬化タイプの改良効果イメージを図12にまとめる。塗膜全体の硬化性を高めたことで、高速

これらの問題を解決するために、光ファイバーの高速生産に対応するコーティング材料の開発を行った。

#### 4. 光ファイバーカラーコーティング材料の開発

##### 4.1 光ファイバーカラーコーティング材料の組成と特徴

図10には光ファイバーカラーコーティング材料の組成と製造方法を示す。光重合開始剤は様々な光吸収波長領域を持つため、照射ランプの特徴的なスペクトルに対応する波長選択が望まれる。着色するための顔料はそれ自身が光を吸収するため、分散度や添加量を考慮する必要がある。塗膜を構成するモノマー、オリゴマーは、目標とする塗膜の物性を考慮して選択し組み合わせる。図11には光ファイバーカラーコーティング材料の組成と特徴を示す。

##### 4.2 高速硬化タイプの設計

高速生産に対応するためには、塗膜全体の硬化性を向上させる必要がある。すなわち、塗膜の「表面」と「深さ方向」の硬化性を同時に考慮しなければならない。コーティング材料の各構成成分の選択及び組み合わせに際しての設計指標を表3にまとめた<sup>3)</sup>。

これらの指標を基に設計を行った結果、高速生産対応の光ファイバーカラーコーティング材料が得られた。

##### 4.3 高速硬化タイプの改良効果

テープ心線の単芯分離性と温水耐性の改良効果を、実験室のモデル実験により調査した。これにより改良効果が認められたので、実際のテープ心線によるテストを行った。これらの結果を表4に示す。単芯分離性は高速硬化カラーが下層のセカンダリ層と強固に密着し、かつテープ/カラー間

●組成

組成	備考
光重合開始剤	ラジカル重合
モノマー、オリゴマー	アクリル基のラジカル重合による架橋構造
その他	顔料、表面調整剤、帯電防止剤など

●製造方法

```

    graph TD
      A[樹脂合成、顔料分散] --> B[配合(開始剤溶解など)]
      B --> C[攪拌混合]
      C --> D[濾過、缶詰]
    
```

図10 光ファイバーカラーコーティング材料の組成と製造方法

光重合開始剤 (PI)

$$PI \xrightarrow{\text{光吸収}} PI^* \rightarrow I \cdot + M \text{ (モノマー)}$$

$$\rightarrow IM \cdot nM \rightarrow IM_{n+1} \text{ (重合体)}$$

モノマー、オリゴマー

主鎖構造: 長 (軟) ← → 短 (硬)

架橋密度: 小 (↑) / 大 (↓)

- 単官能アクリレート
- 二官能アクリレート
- 多官能アクリレート

- ウレタンアクリレート (柔軟、強靱)
- エポキシアクリレート (柔軟、剛直)

図11 光ファイバーカラーコーティング材料の組成と特徴

表3 高速硬化光ファイバーカラーコーティング材料の設計指標  
 <対策>

<ul style="list-style-type: none"> <li>● 表面硬化性 → 低照射量硬化、酸素阻害低減</li> <li>● 深部硬化性 → 低照射量硬化、光線透過率の増加</li> </ul>
--

<設計指標>

光重合開始剤	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 低吸光係数</li> <li>● 長波長側シフト</li> <li>● 添加量の調節</li> </ul>
モノマー、オリゴマー	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 架橋密度増加</li> <li>● 親水基/疎水基のバランス</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 顔料濃度の調節</li> <li>● アミン添加</li> <li>● 表面調整剤の選択</li> </ul>

表4 高速硬化光ファイバーカラーコーティング材料の物性と改良効果

試験内容	試験項目	従来タイプ	高速硬化タイプ
モデル実験	テープ/カラー間密着力 ピール強度 (N/m)	剥離不可	10
	セカンダリ/カラー間密着力 ピール強度 (N/m)	30	180
テープ心線	テープ剥離 (単芯分離性)	剥離不可	剥離良好
モデル実験	60℃温水溶出率 (%)	3.0	1.0
テープ心線	温水耐性規格試験	不合格	合格

生産への対応が可能となった。

## 5. まとめ

光ファイバーカラーコーティング材料「ゾンネ OFC」シリーズは、当社の持つ光硬化技術と着色技術により世界的な光通信網の拡大に伴う光ファイバーの高速生産に対応することが可能となり、現在 市場展開を図っている。

一方で、光硬化性樹脂の「高速硬化」、「無溶剤化」、「熱変形材質への適用」といった、従来の熱硬化型コーティング材料にない特長をさらに活かして、新市場への展開も視野に入れた製品開発を行っていききたい。

## 参考文献

- 1) 成瀬圭祐: 色材講演会 (色材協会 中部支部、2002年 7月)
- 2) 日本電線工業会 (<http://www.jcma.jp/gaikyou.htm>)、経済産業省: 鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計月報 (2001年)
- 3) 木長義昌、清村圭博: 塗料の研究、No.115、

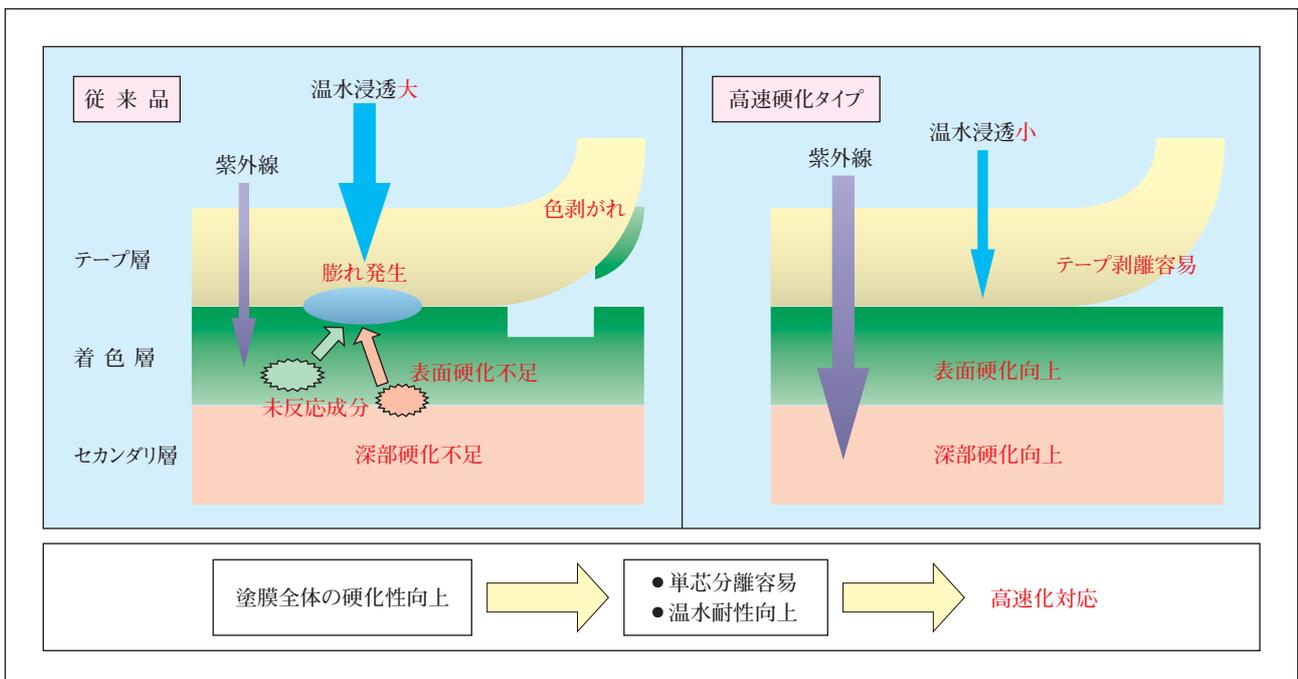


図12 高速硬化タイプの改良効果 (イメージ図)