

平成19年度

着氷防止塗料に関する技術開発

報告書

平成20年3月

社団法人 日本船用工業会

はしがき

本報告書は、競艇の交付金による日本財団の助成金を受けて、平成18年度及び、平成19年度に社団法人日本船用工業会が実施した「着氷防止塗料に関する技術開発」事業の成果をとりまとめたものである。

寒冷地における船舶への着氷は、安全航行に支障をきたし、場合によっては転覆事故に至る危険なものであるが、その対策としてはハンマーで叩き落す人海戦術による除去という原始的且つ不安全作業に依存しているのが現状である。

本開発研究は、(株)タイムアソシエイツが、長期耐久性に富み、しかも着氷防止に有効な機能をも兼ね備えた世界に類を見ない新規塗料用樹脂を活用し、船舶はもとより多分野でも適用できる易着氷除去性、難着氷性、施工性、経済性を有する実用可能な塗料を開発し、着氷除去作業の軽減と航海の安全に寄与することを目的として開発を行ったものである。

今回、貴重な開発資金を助成いただいた日本財団にここに御礼申し上げる次第である。

平成20年3月

社団法人 日本船用工業会

～目次～

1, 概念設計	1
1, 1 製品ニーズとその明確化	2
1, 2 要求仕様	3
1, 3 概念構築	5
1, 4 実体設計	6
1, 5 レイアウト	9
1, 6 詳細設計	10
1, 7 ドキュメント	13
1, 8 設計解	20
2, 供試樹脂の性状試験	21
2, 1 試験計画とその内容	21
2, 1, 1 樹脂単位の性状	21
2, 1, 2 撥水性微粒子配合系での性状	22
2, 2 試験結果	25
2, 2, 1 樹脂単独の性状	25
2, 2, 2 撥水性微粒子配合系での性状	28
2, 2, 3 まとめ	37
3, 塗料化試験	38
3, 1 塗料化試験 (その1)	38
3, 1, 1 基材樹脂のポットライフの調整	38
3, 1, 2 微粒子の選定	39
3, 1, 3 試作配合	40
3, 1, 4 比較対象塗料	43
3, 1, 5 塗装方法	43
3, 1, 6 試験項目	43
3, 1, 7 実験結果	44
3, 1, 8 まとめ	49
3, 2 塗料化試験 (その2)	50
3, 2, 1 供試シリコーン系微粒子	50
3, 2, 2 試作配合	50
3, 2, 3 試験項目	52

3, 2, 4	比較対象塗料	5 2
3, 2, 5	実験結果	5 4
3, 2, 6	まとめ	6 0
3, 3	塗料化試験 (その3)	6 1
3, 3, 1	供試微粒子の種類と配合部数	6 1
3, 3, 2	配合 (No. 108~No. 123)	6 1
3, 3, 3	試験項目	6 3
3, 3, 4	試験結果	6 3
3, 3, 5	まとめ	6 5
4,	実地試験	6 6
4, 1	巡視船「れぶん」での実地試験—1 (塗装作業の概要)	6 6
4, 1, 1	供試塗料	6 6
4, 1, 2	塗装作業プロセス	6 7
4, 1, 3	調査方法	6 9
4, 1, 4	要請事項	6 9
4, 2	巡視船「れぶん」での実地試験—2 (中間調査)	7 0
4, 2, 1	中間評価結果 (10ヶ月後の性能)	7 0
4, 2, 2	まとめ	7 0
4, 3	巡視船「れぶん」での実地試験—3 (再塗装試験)	7 1
4, 3, 1	調査結果 (13ヶ月の性能)	7 1
4, 3, 2	開発候補品の性能と塗り重ね再塗装性の検討	7 2
4, 4	実地試験供試試料のラボでの追跡試験	7 3
4, 4, 1	実船供試試料及び関連試料の着氷防止性試験	7 3
4, 4, 2	まとめ	7 4
4, 5	塩化ゴム/着氷防止塗装系の性能確認試験	7 5
4, 5, 1	目的	7 5
4, 5, 2	塗装系 (各塗装系で5回繰返し)	7 5
4, 5, 3	着氷付着性試験結果 (初期)	7 5
4, 5, 4	着氷付着性試験結果 (劣化後—1)	7 6
4, 5, 5	着氷付着性試験結果 (劣化後—2)	7 6
4, 5, 6	まとめ	7 7
4, 6	塗装直後の暴露による着氷防止性能試験	7 8
4, 6, 1	実験計画	7 8
4, 6, 2	実験結果	7 9
4, 6, 3	まとめ	8 0

4, 7	漁船による実地試験	8 1
4, 7, 1	実施概要	8 1
4, 7, 2	まとめ	8 1
5,	塗膜性能試験	8 2
5, 1	表面特性、着氷付着性試験（その1）	8 2
5, 1, 1	配合設計	8 2
5, 1, 2	試験項目	8 3
5, 1, 3	実験結果	8 4
5, 1, 4	まとめ	8 9
5, 2	表面特性、着氷付着性試験（その2）	9 0
5, 2, 1	配合設計	9 0
5, 2, 2	試験項目	9 1
5, 2, 3	実験結果	9 2
5, 2, 4	まとめ	9 5
5, 3	補修塗装性（塗り重ね再塗装性）試験	9 6
5, 3, 1	既存船舶塗料への塗り重ね性—1（室内環境）	9 6
5, 3, 2	既存船舶塗料への塗り重ね性—2（暴露環境）	9 7
5, 3, 3	着氷防止塗料同種の塗り重ね性(屋外暴露下)	9 8
5, 3, 4	強制劣化後の同種及び既存船舶塗料の塗り重ね性試験	9 9
5, 3, 5	着氷防止塗料相互の塗り重ね性（表面処理方法—1）	1 0 1
5, 3, 6	着氷防止塗料相互の塗り重ね性（表面処理方法—2）	1 0 3
5, 3, 7	着氷防止塗料相互の塗り重ね性（表面処理方法—3）	1 0 4
5, 3, 8	着氷防止塗料相互の塗り重ね性（表面処理方法—4）	1 0 5
5, 3, 9	各種素材に対する塗り重ね適合性試験	1 0 6
5, 4	微粒子配合率の限界値の検討	1 0 7
5, 4, 1	因子と水準	1 0 7
5, 4, 2	配合	1 0 7
5, 4, 3	試験項目	1 0 7
5, 4, 4	実験結果	1 0 8
5, 4, 5	まとめ	1 0 9
5, 5	表面温度／板厚／着氷性の関係—1	1 1 0
5, 5, 1	実験因子と水準	1 1 0
5, 5, 2	試験方法	1 1 0
5, 5, 3	組み合わせ表	1 1 0
5, 5, 4	実験結果	1 1 1

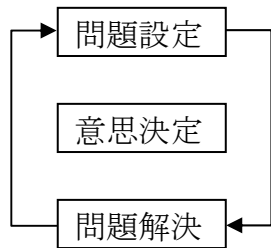
5, 5, 5	まとめ	1 1 1
5, 6	シリコーンゴム系組合せ効果の検討	1 1 2
5, 6, 1	組合せ (三角図法)	1 1 2
5, 6, 2	配合	1 1 3
5, 6, 3	試験項目	1 1 4
5, 6, 4	実験結果	1 1 4
5, 6, 5	まとめ	1 1 7
5, 7	シリコーンゴム及びシリコーン複合微粒子の確証試験	1 1 9
5, 7, 1	微粒子の種類	1 1 9
5, 7, 2	微粒子併用 (組合わせ) システム	1 1 9
5, 7, 3	配合	1 2 0
5, 7, 4	比較対象品	1 2 0
5, 7, 5	試験項目	1 2 0
5, 7, 6	実験結果	1 2 1
5, 7, 7	まとめ	1 2 2
5, 8	表面温度/板厚/着氷性の関係-2	1 2 3
5, 9	各種塗膜/素材の水滴転落角、及び着氷量の測定	1 2 4
5, 9, 1	供試塗膜及び素材の種類	1 2 4
5, 9, 2	着氷量測定法	1 2 4
5, 9, 3	測定結果	1 2 4
5, 10	各種塗膜/素材の水接触角の測定	1 2 6
5, 10, 1	供試塗膜及び素材の種類	1 2 6
5, 10, 2	測定結果	1 2 6
5, 10, 3	まとめ	1 2 7
5, 11	落下衝撃による着氷残量の測定-1	1 2 8
5, 11, 1	供試試料	1 2 8
5, 11, 2	試験片の調整方法	1 2 8
5, 11, 3	試験方法と試験結果	1 2 8
5, 11, 4	まとめ	1 2 9
5, 12	落下衝撃による着氷残量の測定-2	1 3 0
5, 12, 1	供試試料	1 3 0
5, 12, 2	試験片の調整方法	1 3 0
5, 12, 3	試験方法と試験結果	1 3 0
5, 12, 4	まとめ	1 3 1
5, 13	各種素材の着氷付着力と氷柱衝撃剥離角の測定	1 3 2
5, 13, 1	各種素材の種類	1 3 2

5, 1 3, 2	実験結果	1 3 2
5, 1 3, 3	まとめ	1 3 3
6,	総合評価	1 3 4
6, 1	着氷防止の概念	1 3 4
6, 2	着氷防止塗料の試験方法に関する考察	1 3 5
6, 3	撥水性微粒子の選定に関する初期評価の総括	1 4 0
6, 4	撥水性微粒子の選定に関する総合的評価	1 4 1
6, 5	撥水性微粒子の併用効果	1 4 2
6, 6	表面劣化方法による撥水性（着氷防止性）への影響	1 4 4
6, 7	着氷防止性機能に関する既存塗料との比較	1 4 5
6, 8	代表特性間の相関性の検討	1 4 6
6, 9	耐久寿命3年の検証	1 4 8
6, 1 0	塗り重ね再塗装性の検討	1 4 9
6, 1 1	ラボ試験と実地試験の相関性	1 5 0
6, 1 2	最適組成と塗装仕様最適化の検討	1 5 0
6, 1 3	製造方法に関する所見	1 5 2
6, 1 4	開発目標の達成度	1 5 3
6, 1 5	経済性の評価	1 5 4
7,	全体のまとめ	1 5 7
7, 1	開発目的	1 5 7
7, 2	開発目標	1 5 7
7, 3	開発のプロセス	1 5 7
7, 4	開発の成果	1 5 8
7, 5	今後の予定	1 6 0

1, 概念設計

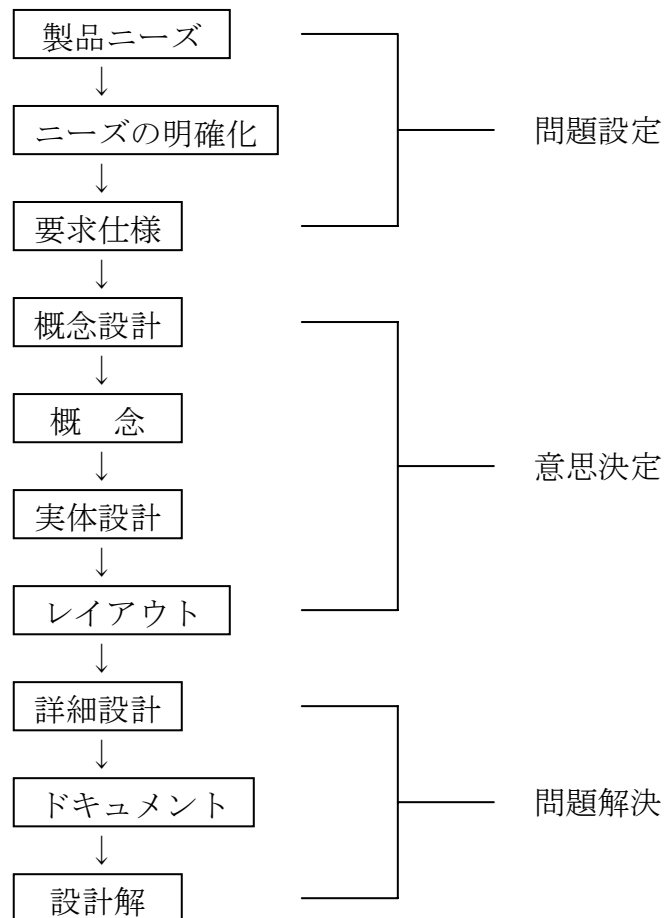
本開発研究を実施するにあたり、まず概念設計により、製品ニーズ～設計解までの全体像を描くこととした。

概念設計は、Pahl, G and Beitz, W の工学設計スキームに準拠し、本開発研究に適応した形に微調整して行った。そのスキームは以下のようなフローで示される。



左図で示されるように抽象化からターゲットすることによって設計の核心に迫るフローで問題解決に至らない場合

一連のフローをより具現化すると以下のようなになる。



ここでいう Pahl, G and Beitz, W の工学設計とは「機能構造を構築し、適切な設計解原理を探索し、これらの原理を組み合わせで代替概念を設計する」というものである。

以上のようなプロセスを基軸として、本開発研究の概念設計を、問題設定（ニーズの明確化、要求仕様の検討）→意思決定（概念構築、実態設計、レイアウト）→問題解決（詳細設計、設計解）という形に修正して行った。

1, 1 製品ニーズとその明確化

寒冷地域における各種構造物への着氷は本来の機能を低下させるのみならず重大事項を誘発する可能性を有しており、これまでに多くの着氷防止対策が講じられてきた。その例を次表に示す。

現状の着氷防止対策

対 策	課 題
●熱エネルギーによる方法 →エンジン余熱、電熱ヒーター 加熱パイプ、蒸気・温水吹付け	▲部位が限定される ▲エネルギーコストが高い
●化学物質による方法 →グリコール、塩類の散布	▲効果の持続性に難点がある ▲環境への影響が懸念される
●物理的方法 →圧縮空気吹きつけ、機械的除去	▲不安全作業である
●物理化学的方法 →ポリマーコーティング（塗装）	▲耐久性に難点がある ○作業が簡便で、部位が限定されない △表面改質で易除去性の期待度が大きい

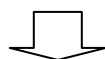
上述のように現状の着氷防止対策において、ポリマーコーティング（塗装）は耐久性に難点が残されているものの、表面改質で易除去性、また改質方法如何によっては難着氷付着性も期待できることが予測でき、さらに適用部位に限定されず、簡便な作業で大面積に対応できるという特長があり、新規な着氷防止塗料という製品開発を行うこととした。

製品ニーズとしては、各種構造物全般に亘るが、以下の対象物が期待できる。

(1) 船舶

1960年代に多発した北洋海域で操業する漁船の転覆これによる人身事故は大きく減少したものの、現在においても海水の飛沫に起因する着氷は、人海戦術による原始的除氷という不安全作業がなされ、さらに敷設機器類の作動不全をもたらすという重大な課題を抱えている。

- (2) 鉄道車両
床下の着氷が落下して鉄路の砕石を跳ね上げ窓ガラスを損傷する事例が存在する。
- (3) 自動車
車体とドライブシャフトの隙間が氷で覆われるのを防止する。
- (4) 電気通信施設、道路交通標識、信号機
着氷による施設素材の脆弱化、機能障害を抑制する。
- (5) 橋梁、鉄塔、ビル、住宅
着氷落下事故の防止に寄与する。
- (6) 地熱発電設備
クーリングタワー冷却水の凍結を防止する。
等、多岐にわたるニーズが考えられ、以下のように結論づけられる。



寒冷地における社会的ニーズに直結させる

1, 2 要求仕様

本開発研究は着氷防止塗料そのものの開発だけで完了するものではなく、この効果を確実に発現させるための塗装システム(仕様)の確立が不可欠である。ただし、既存対象物によっては簡単な表面処理で単層膜という形で着氷防止塗料だけを塗装する場合も考えられる。ここでは船舶を事例とした要求仕様の基本的考え方を示す。

開発塗料は基材（塗膜を構成する基本樹脂を主成分とする）と硬化剤（基本樹脂と化学反応する架橋剤）から構成される「2液混合型塗料」を前提としたものであり、これを要求仕様に反映させることとなる。その概要を以下に示す。

<新造船の場合>

新造船の基本的塗装仕様は以下の通りである。

着氷防止塗装仕様（新造船用）

工 程	方 法	適用材料
素地調整 ↓	ブラストクリーニング	（ミルメーカー、造船所で実施）
一次防錆 ↓	ショッププライマー塗装	ジンクリッチプライマー

第1層 ↓	下塗塗装（防食）	エポキシ樹脂塗料
第2層 ↓	上塗塗装（着色）	ポリウレタン樹脂塗料
第3層	着氷防止塗装	着氷防止塗料（開発製品）

上記仕様から着氷防止塗料に要求される最重要要素としては、

- 1) ポリウレタン樹脂塗料との付着性が良好であり、しかも、
- 2) ポリウレタン樹脂塗料との塗装間隔が長くなっても（最大1ヵ月程度）塗り重ね付着性が維持されること。
- 3) および、塗装作業が簡便に行えること。

等が要求される。

<修繕船の場合>

修繕船の基本的塗装仕様は以下の通りである。

着氷防止塗装仕様（修繕船）

工 程	方 法	適用材料
素地調整 ↓	ディスクサンダー処理	(造船所で実施)
補修塗装 ↓	除錆部や凹凸部を補修	変性エポキシ樹脂塗料
第1層 ↓	下塗塗装（防食）	変性エポキシ樹脂塗料
第2層 ↓	上塗塗装（着色）	ポリウレタン樹脂塗料
第3層	着氷防止塗装	着氷防止塗料（開発製品）

上記仕様のように、修繕船の場合には有効な活膜（寿命に達していない塗膜）が相当残されているため、対象部位の素地調整は不具合部分（さび、ふくれ、はがれ、割れ等）を機械的に処理し、さらに既存塗膜（一般には塩化ゴム系、油性系、ビニル系、エポキシ/ウレタン系等）への塗り重ね適合性に優れた変性エポキシ樹脂塗料を適用することが一般的である。補修塗装で損傷部が深い場合には厚膜型変性、あるいはパテ状変性エポキシも有効になる。着氷防止塗料は、上記新造船と同様、ポリウレタン樹脂塗料との塗り重ね付着性が良好であること、さらに現地での塗装作業が簡便に行えることも実用上極めて重要な要素になる。当該仕様以外に既存塗膜への直接塗装の可否の検討も重要な検討事項である。本件は塗膜性能試験の中で検討する。

1, 3 概念構築

着氷防止塗料に求められる特性は塗膜表面を如何にコントロールするかが最大の課題となる。その概念の基本的要素技術は以下のようなになる。

着氷防止機能を発現させるためには



水と馴染みにくい表面を作り出すこと（撥水性/疎水性表面）



このような表面とは1) 非粘着性物質で覆われている
2) 微妙な凹凸が形成されている



具体的イメージとして、蓮の葉やテフロン表面など



このような表面は高撥水性で、具体的には、

- 1) 水接触角が大きく、
- 2) 表面自由エネルギーが小さい、さらに
- 3) 適度な表面粗さ（微妙な凹凸）を有する等の特性を有している。

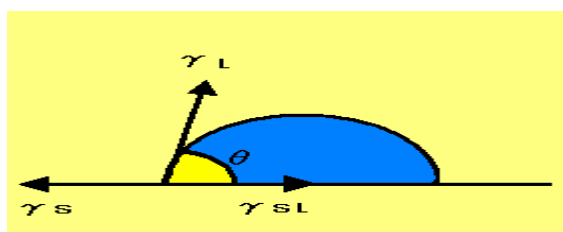
以上のような概念をさらにブレイクダウンし、より具現化した形で検討を図る。

1, 4 実体設計

本開発研究における実体設計にあたり、上記概念に準拠して、物理化学的アプローチ、即ち着氷防止機能を発現する塗料組成を具体的に構築することとする。

(1) 高水接触角、低表面自由エネルギー表面の発現

固体表面上での水の濡れ性は一般に水滴の接触角 θ で評価される。接触角とは下図のように固体と液体接している点における液体表面の接線と固体表面が液体側でなす角度である。接触角の値が小さいと濡れ性がよく、逆に大きいと濡れ性が悪いことを表す。



γ_S = 固体表面の単位面積あたりの表面自由エネルギー

γ_L = 液体表面の単位面積あたりの表面自由エネルギー

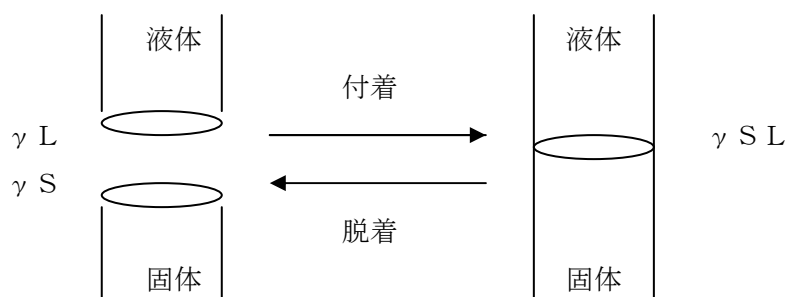
γ_{SL} = 固液界面の単位面積あたりの表面自由エネルギー

上記をヤングの式を用いると

$$\gamma_S = \gamma_L \cos \theta + \gamma_{SL}$$

で示される。

また洞面積の固体と液体は各々 $\gamma_S \text{ m J/m}^2$ 、 $\gamma_L \text{ m J/m}^2$ の表面自由エネルギーを持っているが、これが付着することにより γ_S と γ_L が消失し、 $\gamma_{SL} \text{ m J/m}^2$ を持つ固液界面が生成することになる。



固体表面上での液体の接触角は固体、液体双方の表面エネルギーに依存した値を示し、同じ液体の場合、表面エネルギーの大きな固体表面の接触角は小さく、小さな表面エネルギーの接触角は大きな値を示す。一般に公表されている固体表面自由エネルギーの測定例を以下に示す。

固体表面	表面自由エネルギー (m J / m ²)
A l (アルミニウム)	1909
C u (銅)	2892
α -F e (鉄)	3959
酸化鉄 (F e O)	1067
ポリエチレン	28
ネオプレン	31
フッ化炭素表面	
- C F ₃	6
- C F ₂ H	15
- C F ₂ C F ₂ -	18
炭化水素表面	
- C H ₂	20
- C H ₃	22
- C H ₂ C H ₂ -	31

以下実体設計に関連すると思われる本開発に関連する原材料に関し、解説を加える。

①基材樹脂

高水接触角、低表面自由エネルギー（撥水性表面）を考える場合には、その表面の化学構造に着目することが重要な要素となる。基材樹脂の選定においては、C-F結合やC-H結合を多く含む化合物は分極率が低く、表面自由エネルギー（表面の分子を内部に引きつける力）が低くなるため、水を弾く（濡れにくい）性質を示す。化学構造的に表面自由エネルギーのレベルは、C H₂ > C H₃ > C F₂ > C F₃の順に小さくなる。C H₂、C H₃はシリコン系樹脂に多く、C F₂、C F₃はフッ素系樹脂であり、基材樹脂として、

☆ふっ素樹脂 ☆シリコン樹脂 ☆ふっ素/シリコン複合系樹脂 ☆変性シリコン樹脂系

などが有用な候補品として挙げられる。

②微粒子

塗料を構成する基本成分は「樹脂と顔料」である。樹脂のみでも塗膜は得られるが、顔料のような微粒子の配合による補強効果は明らかであり、特に付着性、耐衝撃性などを向上させる。しかしながら一般に使用される顔料には水酸基（-OH）が結合しているものが多く、塗膜は水に比較的馴染み易く、撥水性表面になりにくいという難点がある。そこで、一般顔料に代替可能な高水接触角、低表面自由エネルギーを発現する微粒子として、

☆各種ふっ化化合物
☆ふっ素樹脂粉末
☆シリコーン樹脂系粉末
☆シリカ粉末

などが有用な候補品として挙げられる。

(2) 表面粗さの付与

撥水性を発現させるもう一つの要因に表面粗さの付与がある。例えば蓮の葉が特に表面改質がなされているわけではないのに水を弾くのは、葉の表面の微細な表面粗さ（凹凸構造）にある。ここで表面が平滑でなく、微細な凹凸構造を有している固体表面の接触角はWenzelの式で示される。

$$\cos \theta_f = r \cos \theta$$

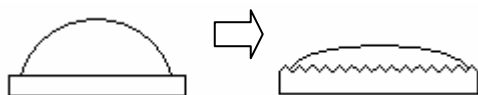
θ_f = 凹凸を持つ個体表面の接触角（真の水接触角）

θ = 平滑面の接触角（見かけの水接触角）

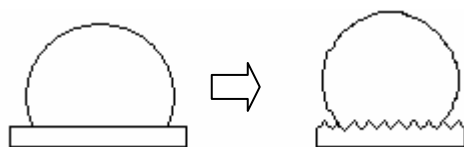
r = 真の表面積/見かけの水接触角（ $r > 1$ ）

下図の凹凸面の水滴に関して、 $\theta > 90^\circ$ の場合は $\theta < \theta_f$ となる、即ち疎水性表面を粗くすると撥水性が付与される。このようにWenzelの式を用いると粗さの程度(サイズ)が見かけの接触角に及ぼす影響が推定可能となる。上記式によれば、 $\cos \theta = 0$ である $\theta = 90^\circ$ を境にこれより小さい場合は親水性に、逆に大きい場合は撥水性が付与されることが示される。

$$\theta < 90^\circ$$



$$\theta > 90^\circ$$



また表面粗さを徐々に大きくすると凹部に水が浸透せず空気層を形成する場合があります、水は固体表面と空気の2成分系での接触形態をとる。この時の見かけの接触角は Cassie の式が知られており、成分2を空気($\theta_2 = 180^\circ$)とすることで、その値が求められる。

$$\cos \theta' = Q_1 \cos \theta_1 + Q_2 \cos \theta_2$$

Q_1, Q_2 : 成分1, 2が表面を占める割合

θ_1, θ_2 : 成分1, 2の真の接触角

これより表面に適切な凹凸をつけると空気との接触割合が高まり高接触角になることが分かる。

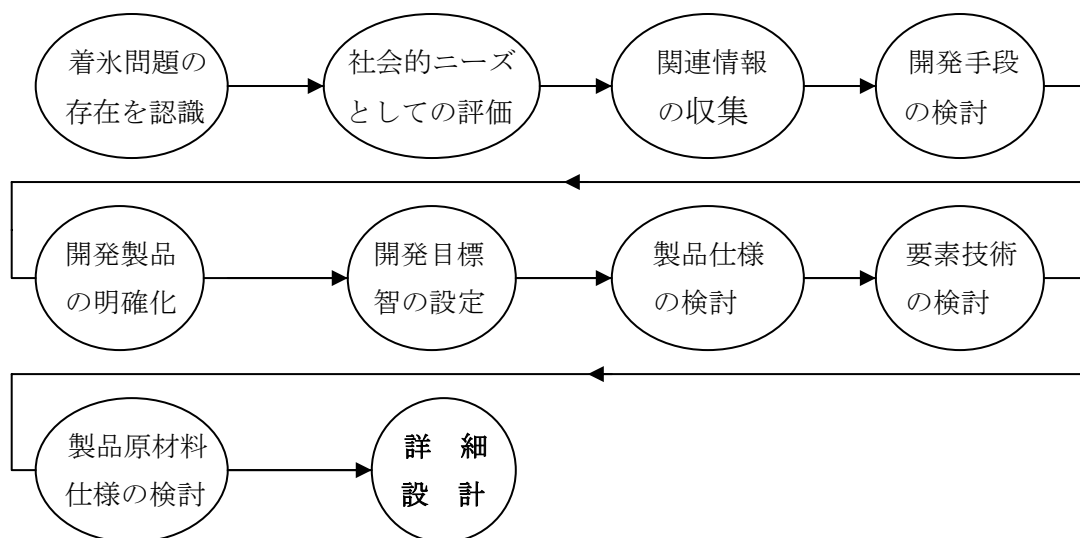
以上のことより、表面粗さの付与は撥水性の発現には極めて重要な要素になるが、その方法として、

- 1) 前述した微粒子のサイズ、及びその添加量を検討し、
- 2) さらにこれらの分散性を高めるための適切な界面活性剤(ふっ素系、シリコーン系)を選定する。

などが有用なアプローチである。

1, 5 レイアウト

以下に詳細設計までのフローさらに具体的に示す。



1, 6 詳細設計

本開発研究による製品は着氷防止塗料であり、前述した実体設計で記述した要素技術を十分に駆使した塗料の開発を図ることとする。その基軸は組成（原材料、成分）そのものに他ならない。具備すべき最大の要素は塗膜表面の撥水性の付与であり、且つその持続性が極めて重要である。かかる見地より詳細設計を行う。

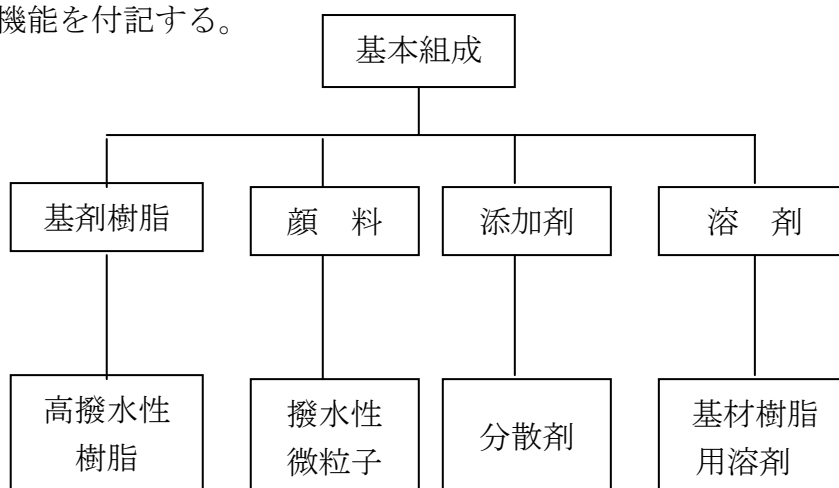
(1) 開発目標の設定

本開発研究における着氷防止塗料の開発目標について、塗膜（品質の最終評価段階）に関する目標値を以下に示す。

項目	目標値
①水接触角	100°以上
②着氷付着力	1kgf/cm ² 以下
③水滴転落角	20°以下
④耐久寿命	3シーズン
⑤補修性	上塗り再塗装が可能

(2) 基本配合の設計

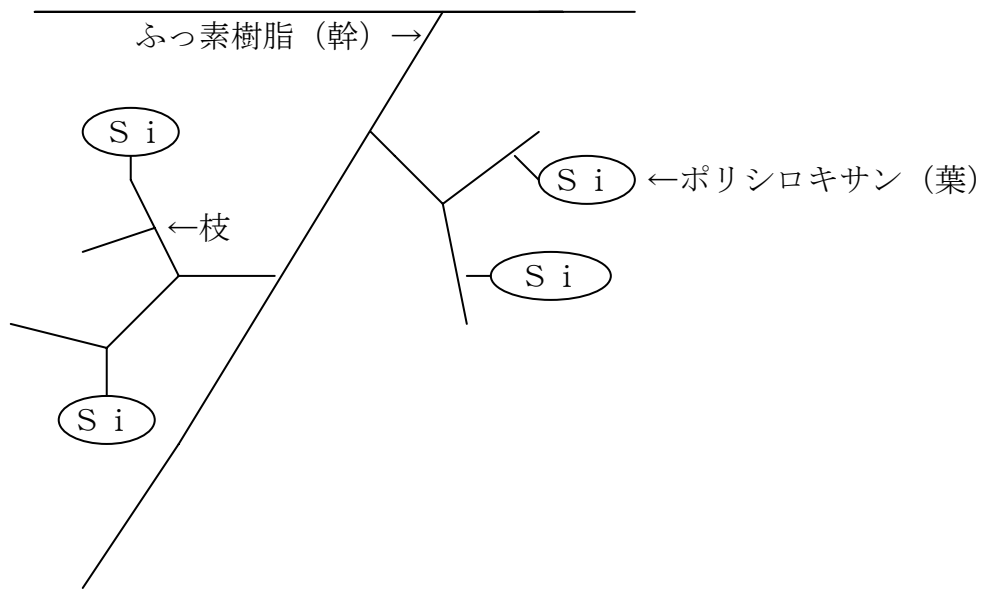
塗料を構成する主要な要素を以下に示し、併せてそれに求められる具体的機能を付記する。



①高撥水性樹脂

高撥水性は低表面自由エネルギー、高水接触角を発現するもので、本開発研究においては、ふっ素/シリコン複合(ハイブリッド)系樹脂を選定した。その主な特徴として

- a) 撥水, 撥油性が高い。
 - b) 摩擦係数が低い。
 - c) 塗膜硬度が大きく、強靱性に富む。
 - d) 耐候性に優れ、紫外線等による劣化が生じにくい。
 - e) 鋼板やエポキシ樹脂塗膜との付着性に富む。
- などが挙げられ、その化学的構造は以下のように示される。



②撥水性微粒子

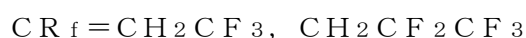
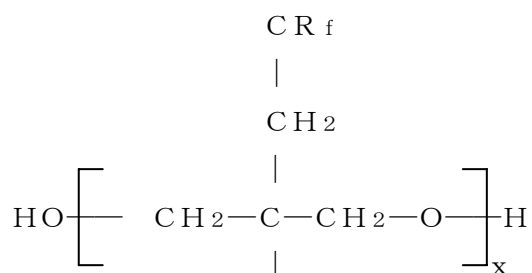
有望と思われる撥水性微粒子多面的に選定した。以下その原材料とその選定の意味合いを示す。

原材料（第一次選定）とその意味合い

原材料の種類	選定の意味合い（具体的説明）
ふっ化ピッチ	超撥水性材料として多方面で確認されている。しかし耐候性などに関する検証例がなく、十分な検討が必要である。
ふっ化黒鉛	ふっ化ピッチと同様超撥水性材料であり選定した。耐熱性、耐候性はC-F結合のため期待できる。
シリコンパウダー	①シリコンゴムパウダー／レジン複合体、②シリコンレジンパウダー、③シリコンゴムパウダーの効果と各組成の相違を明確にする。
P T F E	典型的な撥水性材料のP T F E（ポリテトラフルオロエチレン）について、その粒子径の相違による効果を明確にする。
疎水性シリカ	疎水性シリカ（S i O ₂ ）の粒子径の相違を明確にする。
メチルシリコンパウダー	無機微粉末より撥水性、潤滑性に優れるため採用した。
P T F E 溶剤分散体	0.5 μ m以下の超微粒子であることと事前に溶剤で湿潤させた効果を確認。本材料はF Sで好結果を得たものである。

③分散剤（界面活性剤）

ふっ素系界面活性剤を添加することにより撥水性、非粘着性の付与、表面張力の低下などが期待できる。一般的化学構造の代表例は以下のように示される。



これらは開発過程で必要と思われると判断された時点で適用する。

1, 7 ドキュメント

本開発塗料に関わる技術、例えば基材樹脂、撥水性微粒子、撥水性発現のメカニズム、実験例などを精査した事例を示す文献を以下に示す。

- ① 微粒子の性質と機能設計、色材、72(9)、1999
- ② 難着雪氷機能を有する皮膜の開発、北見工業大学地域共同研究センター、1998
- ③ フッ化物微粒子を分散させた撥水性塗料、防錆管理、1995-11
- ④ シリコーン・アクリルブロック共重合体を用いた超撥水塗膜、TECHNO COSMOS2003. MAR Vol.16
- ⑤ 超撥水性溶射皮膜の開発とその応用、北見工業大学
- ⑥ シリコーン系超撥水コーティング剤の開発と今後の展望、ファインケミカル2003、Vol.33
- ⑦ 最も水をはじく高分子材料は、高分子、45、1996
- ⑧ 架橋型シリコーン・アクリルブロック共重合体のマイクロ相分離とその塗膜性能TECHNO COSMOS 2002 Feb.
- ⑨ 着雪氷防止技術に関する研究(第1報)、北海道立工業試験場報告、No.292
- ⑩ 着雪氷防止技術に関する研究(第2報)、北海道立工業試験場報告、No.297
- ⑪ 着雪氷防止技術に関する研究(第3報)、北海道立工業試験場報告、No.299
- ⑫ 着雪氷防止技術に関する研究(第3報)、北海道立工業試験場報告、No.302
- ⑬ フッ化黒鉛の化学、化学総説、No.27、1980
- ⑭ 超親水、超撥水化技術、技術情報協会編(一部記載)
- ⑮ 撥水、撥油剤、21世紀のフッ素系新素材、新技術(一部記載)
- ⑯ 高撥水技術の最新動向(一部記載)

次に本開発研究に関連した特許出願例を抄録した。以下その概要を示す

(右上は整理No.)

発明の名称 出願人 特開No. 構成	被覆組成物及び該被覆組成物を用いた被覆物品 ① 富士化成工業株式会社 2003-292870 ラジカル重合性フッ素樹脂、ラジカル重合性ポリシロキサン、アルコキシシリル含有モノマー、水酸基含有モノマーなどと架橋剤より構成される樹脂は氷雪付着防止を容易にする。
発明の名称 出願人 特開No. 構成	グラフト共重合体及び塗料 ② 富士化成工業株式会社 2000-119355 ウレタン結合を介したラジカル重合性フッ素樹脂、ラジカル重合性ポリシロキサン、ラジカル重合性アルコキシポリアルキルグリコールのグラフト共重合体より成る樹脂、塗料は優れた撥水性、水滴滑り性を示す。
発明の名称 出願人 特開No. 構成	グラフト共重合体及び塗料 ③ 富士化成工業株式会社 2000-136221 ウレタン結合を介したラジカル重合性アクリル樹脂、ラジカル重合性ポリシロキサンより成る樹脂、塗料は優れた撥水性、水滴滑り性を示す。
発明の名称 出願人 特開No. 構成	グラフト共重合体及び塗料 ④ 富士化成工業株式会 2000-119354 ウレタン結合を介したラジカル重合性フッ素樹脂、ラジカル重合性ポリシロキサンより成る樹脂、塗料は優れた撥水性、水滴滑り性を示す。
発明の名称 出願人 特開No. 構成	塗料組成物およびコーティング層 ⑤ 日本フッ素工業株式会社 2005-325242 上記富士化成工業製品をイソシアネートで硬化する塗料にセラミックス、導電材を配合すると優れた非粘着性を示す。
発明の名称 出願人 特開No. 構成	撥水性、耐食性、耐着雪性、耐候性、潤滑性に優れた材料、製造方法 ⑥ 日本電信電話株式会社 平6-248223 未結合フッ素含有量が3%以下で、粒子径が8 μ m以下のフッ化グラファイトをアクリルシリコーン樹脂、アクリル樹脂、ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂、フッ素樹脂、ウレタン樹脂などに配合して成る材料は優れた撥水性を示す。

発明の名称 出願人 特開 No. 構成	着氷防止塗料組成物 大阪瓦斯株式会社 平5-239381 フッ化ピッチ，7環以下の環で構成されるフッ化芳香族化合物、バインダー樹脂としてアクリル、ポリウレタン、エポキシ、アルキッドなどより成る。	⑦
発明の名称 出願人 特開 No. 構成	撥水性塗料、着氷着雪防止用撥水被膜 日商岩井ケミカル株式会社 2000-44935 酸化ハフニウムを主成分とする撥水塗料（酸化ハフニウゾル）	⑧
発明の名称 出願人 特開 No. 構成	四フッ化エチレン樹脂シリコーン樹脂混合塗料 日本電信電話株式会社 2000-44863 四フッ化エチレン樹脂とシリコーン樹脂混合塗料はフッ素樹脂粉末を大量に含有しなくても撥水性が高く、難着氷、難着雪に優れ、長期水浸漬による撥水性の低下が少ない。	⑨
発明の名称 出願人 特開 No. 構成	撥水性コーティング用塗料及びその塗膜 NTTアドバンステクノロジー 2000-26844 フッ素樹脂粉末或いは疎水性処理した無機微粉末及びこの混合系とシリコーン樹脂、シリコーンオイル、フルオロシリコーンオイルの内1つ又は混合物。微細な凹凸はシリコーンオイル又はフルオロシリコーンオイルで覆い高い撥水性が付与される。	⑩
発明の名称 出願人 特開 No. 構成	撥水性塗料及びその製造方法～～～ NTTアドバンステクノロジー株式会社 平11-29722 ○SiO ₂ 、SiO ₂ を含むガラス、シラス、ケイ砂、ゼオライト、シリコンカーバイドの単体又は複合体、○有機微粒子が架橋ポリメタクリル酸メチル、ウレタン単体又は複合体、○カップリング剤が撥水性基をもつシランカップリング剤、チタンカップリング剤の単体又は複合体、○バインダ樹脂がアクリル、アクリルシリコーン、アクリルウレタン、ポリエステル、○エポキシ、○ウレタン、○フッ素の単体又は複合体	⑪

発明の名称 出願人 特開No. 構成	塗料組成物 関西ペイント株式会社 平10-204340 ポリエチレンワックスと樹脂から構成される塗料組成物	⑫
発明の名称 出願人 特開No. 構成	被膜形成組成物 ダイキン工業株式会社 平10-183049 フッ素-アクリル系樹脂、撥剤としてフッ素系、シリコン系、炭化水素系、表面粗度調整剤としてフルオロオレフィン重合体、フッ化黒鉛、二酸化ケイ素、グラファイト又はチタン酸カリウムから構成される着雪着氷防止塗料。	⑬
発明の名称 出願人 特開No. 構成	フッ素樹脂塗料及びその塗膜 日本電信電話株式会社 平10-88061 フッ素樹脂とバインダー、表面自由エネルギーが該バインダーより小さい添加剤、光触媒作用を有する酸化チタンより成る。添加剤としてはフッ素オイル、フッ素系界面活性剤の長期難着雪/着氷機能を有する塗料及び塗膜。	⑭
発明の名称 出願人 特開No. 構成	除氷及び着氷防止性に優れた耐チップング塗料組成物 神東塗料株式会社、関東自動車工業株式会社 平5-331407 フッ素樹脂、ポリエステルポリオール/硬化剤、フッ素界面活性剤を含む除氷、着氷防止性に優れた塗料	⑮
発明の名称 出願人 特開No. 構成	シリル基を有する含フッ素共重合体及び塗料組成物 旭硝子株式会社 平5-17535 テトラフルオロエチレンなどのフルオロオレフィン系単量体、ビニロキシシラン、アリロキシシラン又はイソプロペノキシシランなどのシラン単量体より成る重合体、必要により炭化水素単量体、硬化反応性部位を有する単量体を含む。着氷防止、貼紙防止性に優れる。	⑯
発明の名称 出願人 特開No. 構成	撥水性及び滑水性に優れた表面処理用組成物 ダイキン工業株式会社 PCT/JPO3/05316、WO 03/093388 A1 撥水性バインダー（フッ素樹脂）、PTFE粒子、分散剤より成り、初回の滑水角度が15°以下の塗膜を与える。	⑰

発明の名称 出願人 特開No. 構成	超撥水性塗料の製造方法 三菱自動車工業株式会社 平7-26169 TFEオリゴマー（PTFEの分子末端までフッ素で置換：TFEO）及び／またはグラファイト、これに自動車用塗料ソリッドを混合して成る超撥水性塗料の製造方法。	⑱
発明の名称 出願人 特開No. 構成	熱架橋性塗料用樹脂組成物およびその用途 東洋インキ製造株式会社 平10-195373 一分子中に—C=C—とフルオロアルキル基を有するフッ素単量体と分子中に—C—とポリシロキサン鎖を有する単量体と—C=C—と架橋性官能基を有する単量体と—C=C—と架橋性官能基を有する単量体を主成分とする。	⑲
発明の名称 出願人 特開No. 構成	コーティング用樹脂組成物 東洋インキ製造株式会社 平10-265737 一分子中に—C=C—、ポリオルガノシロキサン鎖を有する単量体、—C=C—と架橋性官能基を有する単量体を主成分とする。	⑳
発明の名称 出願人 特開No. 構成	着雪、着氷防止用コーティング組成物及び〜〜〜 ジェイエスアール株式会社 2001-040338 オルガノシランの加水分解物、該縮合物の少なくとも1種、並びに加水分解性基及び／または水酸基と結合したケイ素原子を有するシリル基を有するフッ素重合体を含む組成物。	㉑
発明の名称 出願人 特開No. 構成	撥水塗料およびその製造方法並びに〜〜〜」 日本電信電話株式会社 平11-029722 官能基を持つ微粒子と該微粒子の官能基と化学結合できる官能基を有し、且つその分子内に撥水性官能基を持つカップリング剤と、該微粒子を結びつけるバインダー樹脂、溶剤から成る。	㉒
発明の名称 出願人 特開No. 構成	撥水性コーティング膜 東レ株式会社 平10-273617 疎水性処理された無機微粒子とポリフッ化ビニリデン系重合体を含む疎水性高分子化合物から成り、表面に5～50μの凹凸、隣り合う凸部との間隔が0.5～50μを形成させる塗料。	㉓

発明の名称 出願人 特開No. 構成	撥水性塗料組成物 信越化学工業株式会社 平10-120941 ポリフルオロアルキル基含有ビニル単量体と1分子にケイ素原子に結合する少なくとも1個の加水分解性基を有するシリコーン系ビニル単量体の共重合体に、0.1~50 μ mの粉末を配合して成る。	⑳
発明の名称 出願人 特開No. 構成	超撥水性塗料及びそれを用いた超撥水塗膜 株式会社日立製作所 平09-279056 有機高分子塗料と塗膜内に5nm以上のフィラーを組み合わせて分散させ、さらにパーフルオロポリオキシアルキル系化合物を含有する塗料。	㉑
発明の名称 出願人 特開No. 構成	着氷または着雪防止用塗料およびその塗装物 住友化学工業株式会社 2000-053949 エポキシ樹脂(A)、パーフルオロアルキル基含有アクリレートまたはメタクリレートとカルボキシル基含有 α , β -エチレン性不飽和単量体の共重合物であり、該エポキシ樹脂に不溶解の含フッ素樹脂(B)と反応させる際、Aのグリシジル基とBのカルボキシル基の一部、または全部を反応させて得られる変性エポキシ(C)とエポキシ基2個以上有するエポキシ樹脂(D)を必須成分とする。	㉒
発明の名称 出願人 特開No. 構成	マイケル硬化型撥水性塗料組成物 日本ペイント株式会社 2004-359858 加熱が十分に行われない系でも、撥水性が維持され、基材への密着性に優れたマイケル硬化型塗料。シリコーンアクリルブロック共重合体、 α , β -不飽和カルボニル基含有体、およびシリコーンオイルから成る。	㉓
発明の名称 出願人 特開No. 構成	優れた撥水性を有するラッカー組成物 日本ペイント株式会社 2004-359857 アゾ基含有シリコーンマクロ開始剤の存在下、反応性官能基価5以下のモノマー混合物を重合して得られるシリコーンアクリルブロック重合体、水酸基及び/またはテトラヒドロフルフリル基を有するアクリル重合体、シリコーンオイルから成り、疎水性シリカとPTFE粒子を含む組成物。	㉔

発明の名称 出願人 特開 No. 構成	撥水性塗料、これを用いた塗膜および塗装製品 日本電信電話株式会社 平10-036707 含フッ素樹脂粉末（比表面積8～50 m ² /g、分子量1～10万）含フッ素樹脂としては、PTFE樹脂、テトラフルオロエチレン・パーフルオロ（アルキルビニルエーテル）共重合樹脂、テトラフルオロエチレン・ヘキサフルオロプロピレン共重合樹脂の少なくとも1種使用する。	⑳
発明の名称 出願人 特開 No. 構成	高撥水性塗料用樹脂組成物 東洋インキ製造株式会社 平09-194789 -C=C-とパーフルオロアルキル基含有フッ素単量体と-C=C-とアルコキシシリル基含有単量体と-C=C-とカルボキシル基含有単量体から成る共重合体（A）、-C=C-とアルコキシシリル基含有単量体と-C=C-とカルボキシル基含有単量体の共重合体（B）とオルガノシリカゾル（C）から成る。	㉑

1, 8 設計解

本開発研究の着氷防止塗料は、その系統としては一般に普及している「液状塗料」が主体となる。そこで、組成面では前述した撥水性（疎水性）機能を有するバインダーとして「フッ素／シリコーン複合系樹脂」を用い、これに充填材として同じく撥水性（疎水性）機能を有する微粒子（微粉末）を適正な濃度で配合する方向が妥当であると思われる。

そこで最も重要な要素としては、開発目標として設定した3年という耐用寿命をどのように担保するかということに帰結する。そのための試験、評価方法として強制劣化システムを導入して3年間に相当する塗膜表面を作り出すことにする。このためには、促進天然暴露試験、更には水への長期間浸漬などを駆使する方向で対応する。

2、供試樹脂の性状試験

平成17年度に実施した着氷防止塗料の開発研究のF Sにより、ふっ素／シリコーン複合樹脂が有望で且つ特定の微粒子の配合によりその効果が更に向上することがラボ試験で判明した。ここでは該樹脂の性状を把握すると共に、着氷防止機能を発現させる撥水性を再度確認し、併せて種々の微粒子を配合した場合の効果も予備的に検討することとした。また標準樹脂以外のバージョンについても検討した。

2、1 試験計画とその内容

2、1、1 樹脂単独の性状

ふっ素／シリコーン複合樹脂はエステル系有機溶剤を含有する液状である。ここでは液状及び硬化物、即ち塗膜の双方に関する性状試験を行った。

(1) ポットライフの測定

標準樹脂を用いて硬化剤を混合した場合のポットライフ（可使時間）を測定し、塗装作業に支障を生じないか否かを検討した。

(2) 乾燥膜厚の測定

塗膜としての性状試験を行うにあたり、標準樹脂を用いて目標とする乾燥膜厚を得る条件を見出すための塗装をアプリケーションで行った。

(3) 各種物性試験項目

ふっ素／シリコーン複合樹脂全般について下記の試験を行った。

- ①比重
- ②引火点
- ③ガラス転移温度（塗膜）
- ④硬度（塗膜）
- ⑤接触角（塗膜）
- ⑥その他の性状値

2, 1, 2 撥水性微粒子配合系での性状

標準樹脂系に各種撥水性微粒子を配合した塗膜の性状を試験した。

(1) 供試撥水性微粒子の種類

原材料No.	撥水性微粒子の種類	平均粒子径 (μm)
①	フッ化ピッチ (石炭系)	10
②	〃	1
③	フッ化黒鉛	2
④	〃	6
⑤	シリコーン複合粉末	5
⑥	〃	30
⑦	〃	0.8
⑧	シリコーンレジン粉末	2
⑨	シリコーンゴム粉末	5
⑩	P T F E 粉末	17
⑪	〃	7
⑫	疎水性シリカ	4.9
⑬	〃	2.1
⑭	〃	—
⑮	メチルシリコンレジン粉末	20
⑯	P T F E 分散液	0.3

☆微粒子の添加率 (w t %、固形分換算) を 20、40、60 の 3 水準で配合する。

(2) 配合 (No. 1 ~ No. 48)

原材料No. ↓	1	2	3	4	5	6
基材樹脂	100	→	→	→	→	→
1	7.4	14.8	22.2			
2				7.4	14.8	22.2
微粒子濃度 (%)	20	40	60	20	40	60

No.	7	8	9	10	11	12
基材樹脂	100	→	→	→	→	→
3	7.4	14.8	22.2			
4				7.4	14.8	22.2
微粒子濃度 (%)	20	40	60	20	40	60

No.	1 3	1 4	1 5	1 6	1 7	1 8
基材樹脂	100	→	→	→	→	→
5	7.4	14.8	22.2			
6				7.4	14.8	22.2
微粒子濃度 (%)	20	40	60	20	40	60

No.	1 9	2 0	2 1	2 2	2 3	2 4
基材樹脂	100	→	→	→	→	→
7	7.4	14.8	22.2			
8				7.4	14.8	22.2
微粒子濃度 (%)	20	40	60	20	40	60

No.	2 5	2 6	2 7	2 8	2 9	3 0
基材樹脂	100	→	→	→	→	→
9	7.4	14.8	22.2			
1 0				7.4	14.8	22.2
微粒子濃度 (%)	20	40	60	20	40	60

No.	3 1	3 2	3 3	3 4	3 5	3 6
基材樹脂	100	→	→	→	→	→
1 1	7.4	14.8	22.2			
1 2				7.4	14.8	22.2
微粒子濃度 (%)	20	40	60	20	40	60

No.	3 7	3 8	3 9	4 0	4 1	4 2
基材樹脂	100	→	→	→	→	→
1 3	7.4	14.8	22.2			
1 4				7.4	14.8	22.2
微粒子濃度 (%)	20	40	60	20	40	60

No.	4 3	4 4	4 5	4 6	4 7	4 8
基材樹脂	100	→	→	→	→	→
1 5	7.4	14.8	22.2			
1 6				24.7	49.3	74.0
微粒子濃度 (%)	20	40	60	20	40	60

(3) 塗装仕様

上記配合による微粒子配合樹脂を以下の塗装仕様により塗装した。

第1層	エポキシジンクプライマー	1×20 μ	(スプレー)
第2層	エポキシプライマー	1×100 μ	(スプレー)
第3層	ポリウレタン上塗	1×30 μ	(スプレー)
第4層	着氷防止試作品No.1～4 8	1×25 μ	(アプリケーション)

裏面はエポキシジンクプライマー、1×20 μ

(4) 試験項目

①水接触角、および着氷付着力（引っ張りせん断強度）の測定（テンシロン）。

初期及び強制劣化後の試験を行った。

②冷凍室における着氷付着力の測定

初期状態における試験を行った。

③手動式水滴転落角の測定（化成処理板に第2層～第4層を塗装）

手動式水滴転落角測定装置により初期及び強制劣化後の測定を行った。

(5) 比較対象塗装系

No.4 9：基材樹脂（微粒子含有しない配合）

No.5 0：ポリウレタン樹脂塗料（アクリルウレタン系）

2, 2 試験結果

2, 2, 1 樹脂単独の性状

(1) ポットライフの測定

標準グレード樹脂を用いてポットライフ（可使時間）試験を行った。

①試験方法

標準グレード樹脂（フッ素／シリコン複合系／イソシアヌレート系）の主剤(A)250g、硬化剤(B)50gの300g調整し、23℃恒温で試験した。

②試験結果

希釈率と粘度変化

	希釈率 (%)	
	0	10
初期	700cp	500cp
1hr	1000cp	500cp
1.5hr	プリジェル状	流動性あり
2hr	ジェル状	増粘傾向、塗装可能
2.5hr	—	ジェル状

③結論

ポットライフは1時間と見做せる。希釈により僅かに遅延するが更なる検討が必要である。金属触媒の影響であると思われる。

(2) 硬化乾燥時間、および硬度の測定

標準グレード樹脂により硬化乾燥時間と硬度を測定した。

①試験方法

標準グレード樹脂（フッ素／シリコン複合系／イソシアヌレート系）を主剤（A）／硬化剤（B）を5／1（重量比）で混合し、膜厚をアプリケーションで調整し塗装した。

②試験結果

硬化乾燥時間（23℃、分）

	指 触	半硬化	硬 化
アプリケーション 125μ	10	20	50
150μ	10~15	25	50
200μ	15~20	35	50~60

硬度の経時変化、23℃、鉛筆引っかき硬度

	3時間	5時間	7時間	24時間	7日
アプリケーションタ 125 μ	4B	3B	3B	B	HB~H
150 μ	4B	3B	3B	B	HB~H
200 μ	5B	4B	4B	2B	HB~H

(3) 乾燥膜厚調整のための条件設定

標準樹脂、(フッ素/シリコン複合系/イソシアヌレート系) = 5/1 (固形分37%) を用いて刻み厚125 μ m、150 μ m、200 μ mのアプリケーションターで塗装し、目標膜厚の25 μ を得るための条件設定を行った。以下アプリケーションターの刻み厚/希釈率/膜厚の関係を示す。

24時間後 (23℃) の乾燥膜厚 (μ m)

刻み厚(μ m) \ 希釈率(%)	0	10	20
125	10,10,15,10,8 12,12,18,10,8	12,15,15,12,10 12,12,12,10,20 13,12,12	15,18,15,18,20 15,18,15,10,15 12,12,10
150	40,35,30,32,32 32,35,32,32,32	38,32,30,32,30 25,30,29,25,28 26,30,30	22,20,25,25,28 26,26,22,20,25 25,22,25,22,25
200	70,72,60,45,65 60,45,65,45,50 40,50,72,62,65	42,43,48,40,40 42,40,40,40,38 38,35,40,40,38	36,30,28,28,25,25 28,30,30,30

168時間後 (23℃) の乾燥膜厚 (μ m)

刻み厚(μ m) \ 希釈率(%)	0	10	20
125	10,10,9,11,10 15,15,20	19,20,21,15,18 20,13,15,18,18 18	20,20,19,18,18 15,13,12,13,10 10
150	45,40,40,45,35 38,40,40	42,40,35,38,32, 30,32,32,35,35	20,18,20,20,18, 21,22,20,20,18, 15
200	95,90,80,90,78 65,78,70,60	50,48,45,48,48 48,45,45,42,40 40,40	30,30,45,35,30 34,30,30,30,38 33

以上の結果より、目標膜厚を25 μmと設定し、刻み厚150ミクロン型アブリケーターを用い、希釈率20%を塗装条件とした。

(4) 各種物性試験

ふっ素／シリコン複合樹脂の物性に関する試験を実施した。その結果を以下に示す。

区 分	標準 グレード	高耐候性 グレード	高水酸基価	高水酸基価 シリル基有
比 重	0.97	1.00	0.97	0.98
引火点 (°C)	26	26	30	22
ガラス転移温度 (°C)	83	97	105	測定不可
鉛筆硬度				
1日	HB	B	HB	HB
7日	F	H	F	H
水接触角 (°)				
初期	102	103	101	102
400hr	94	99	92	95
酸価 (樹脂値)	5	5	5	0
水酸基価 (樹脂値)	58	58	120	120
固形分 (重量%)	35	40	45	45

備考：測定条件の説明

- ①硬化条件 へキサメチレンジイソシアネートのイソシアヌレート体により硬化、NCO/OH=1/1、酢酸ブチルで樹脂分35%に調整、140°C×30分で強制乾燥させた。
- ②引火点 セタ密閉式
- ③固形分 105°C×3hrの不揮発分（加熱残分）測定法
- ④酸価 計算値
- ⑤水酸基価 計算値
- ⑥水接触角 CA-W型自動液滴接触角計（協和界面科学社製）劣化方法（400hr）はキセノンランプ
ISO 11341

2, 2, 2 撥水性微粒子配合系での性状

(1) 水接触角および着氷付着力 (引っ張りせん断、テンシロン)

①水接触角 (°)

No.	初期値	促進劣化400hr	No.	初期値	促進劣化400hr
1	102.8	74	25	102.4	90
2	103.7	67	26	104.9	88
3	104.3	71	27	108.7	106
4	102.6	73	28	102.1	82
5	100.1	76	29	105.2	94
6	100.2	68	30	105.5	96
7	100.2	71	31	102.9	80
8	102.1	73	32	101.8	86
9	103.8	73	33	95.7	87
10	101.3	74	34	106.9	93
11	99.8	78	35	130.4	117
12	99.2	79	36	154.3	117
13	102.6	85	37	102.7	87
14	103.9	89	38	142.8	110
15	105.4	90	39	155.8	132
16	105.5	92	40	103.6	91
17	103.8	94	41	136.8	115
18	105	85	42	153.2	134
19	103.3	70	43	98.8	80
20	103.9	79	44	99.4	82
21	105.3	82	45	105.9	93
22	103.4	77	46	108	80
23	106.3	78	47	112.6	87
24	104.7	77	48	116.5	89
			49	101.5	72
			50	84.3	59

<注>測定方法

水接触角：協和界面科学社製CA-W型自動液滴接触角計、5 μ L脱イオン水

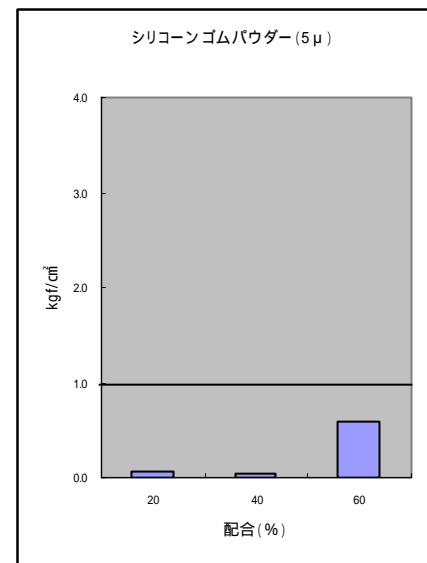
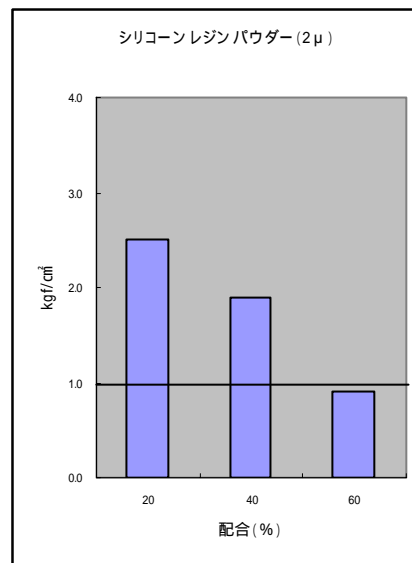
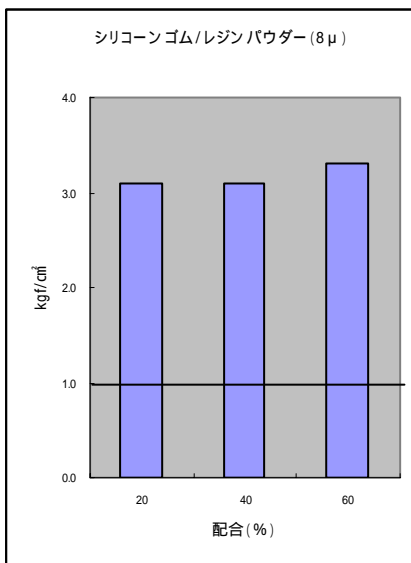
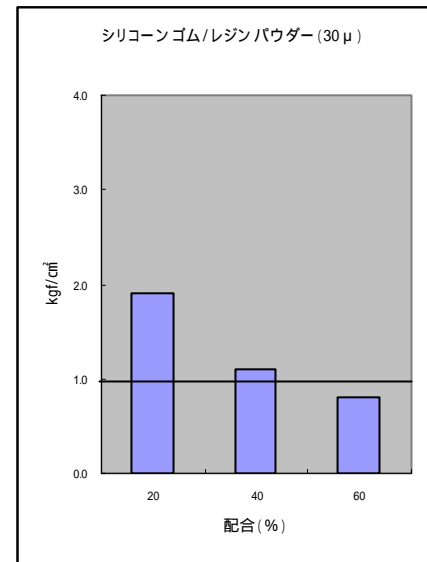
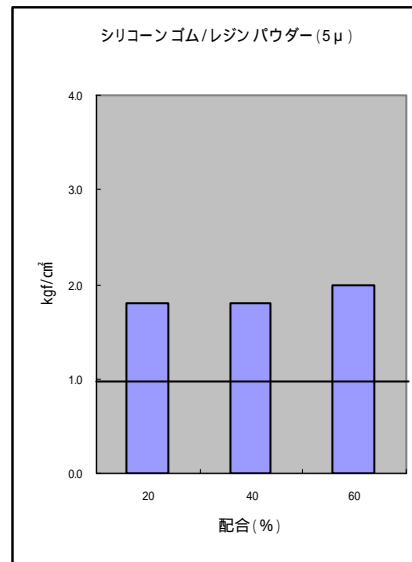
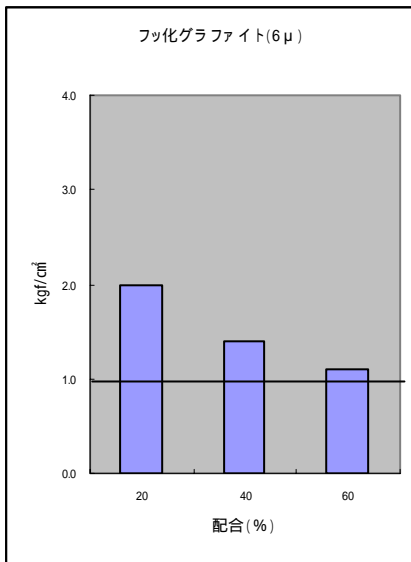
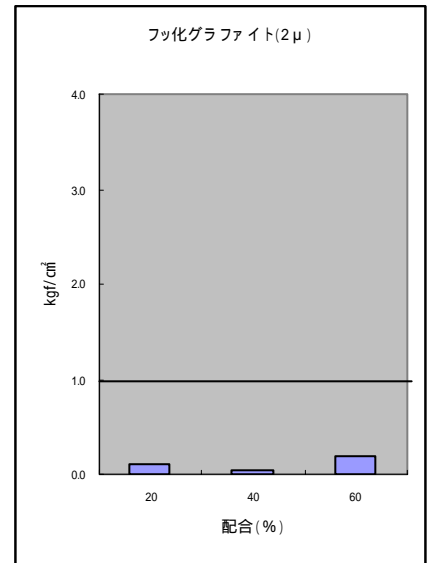
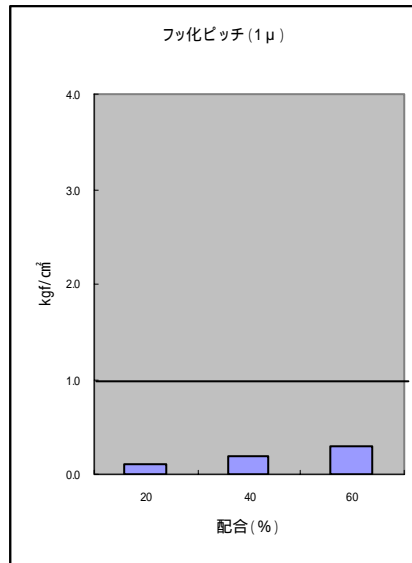
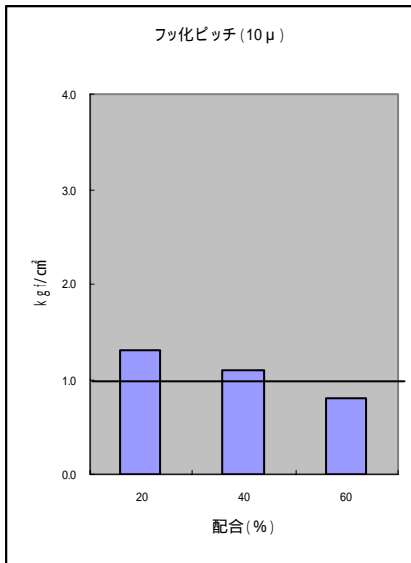
着氷付着力：テンシロン、クロスヘッドスピード2mm/min.

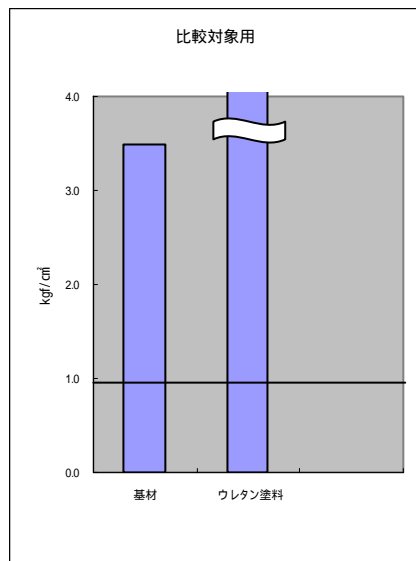
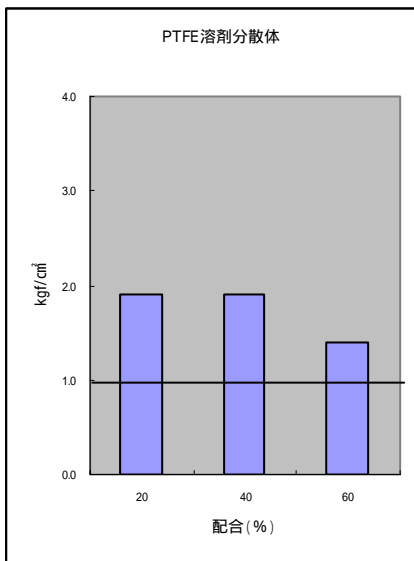
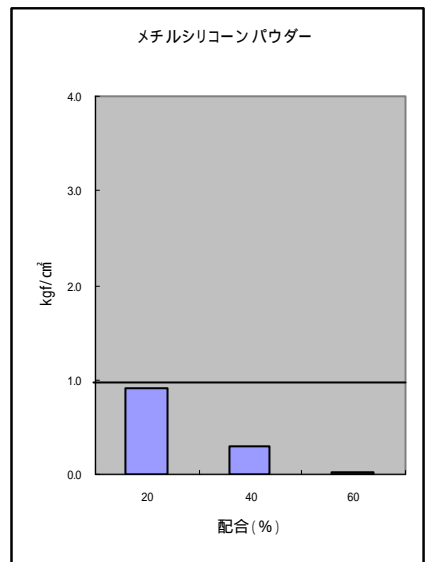
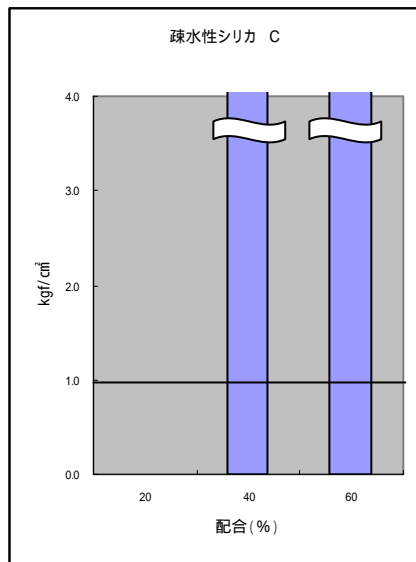
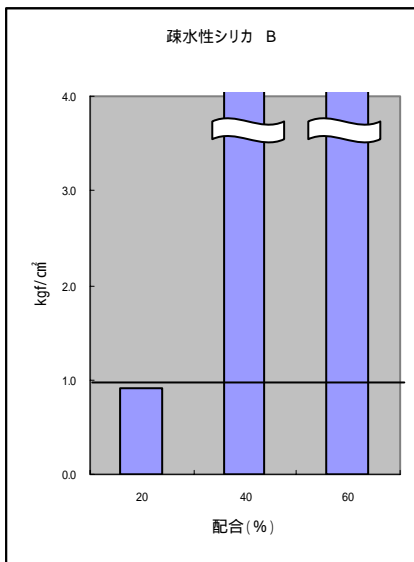
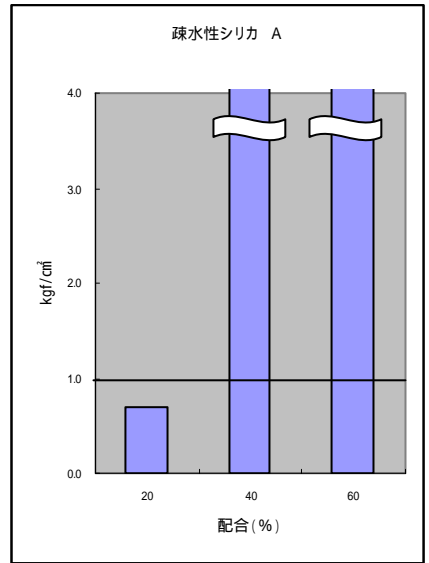
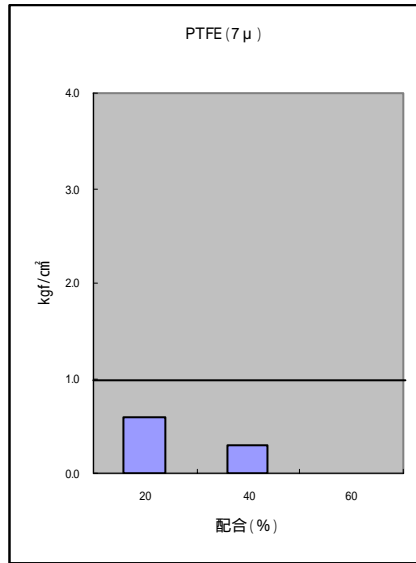
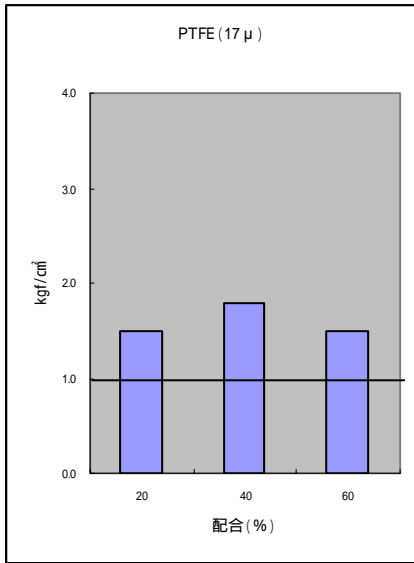
②着氷付着力 (×10⁻²MPa)

No.	初期値	促進劣化400hr	No.	初期値	促進劣化400hr
1	13.4	>50	25	0.6	45.3
2	10.6	>50	26	0.5	58.9
3	7.8	62	27	5.6	>50
4	1.1	30.3	28	15.3	51.8
5	2.3	>50	29	11.7	36.2
6	2.6	>50	30	15.2	48.7
7	1.2	>50	31	6.1	47.7
8	0.4	>50	32	2.7	>50
9	2.1	22.8	33	0.0	48.2
10	20.4	>50	34	7.1	42.4
11	14.1	18.8	35	>50	>50
12	10.9	>50	36	>50	>50
13	17.7	25.8	37	8.9	20.9
14	17.5	26.9	38	>50	>50
15	19.7	>50	39	>50	>50
16	18.7	29.0	40	0.0	24.2
17	11.2	20.1	41	>50	>50
18	8.2	48.5	42	>50	>50
19	31.4	>50	43	8.8	19.5
20	31.2	>50	44	3.2	27.5
21	32.3	>50	45	0.2	36.3
22	25	36.8	46	18.3	27.1
23	18.6	17.4	47	19.2	41.1
24	9.0	>50	48	14.3	23.6
			49	34.8	>50
			50	>50	>50

備考：データは表面状態（凹凸）にバラツキが多いため、3箇所測定値のうち異常な値はカットし、平均値で示した。

着氷付着力測定試験 (テンシロン法)





(2) 冷凍室における着氷付着力 (データはN、環境温度-15℃)

No.	①	②	③	④	No.	①	②	③	④
1	>50	>50		○	25	37	23	19	○
2	>50	>50		○	26	>50	47	28	○
3	>50	22		△	27		4	2	○
4	50	16	1	○	28		>50	>50	○
5	>50	13	16	○	29		20	>50	○
6		18	30	○	30		>50	>50	○
7		39		○	31		34	47	○
8		27		○	32		19	43	△
9		>50		△	33		45	27	○
10		>50		○	34		22	>50	○
11		>50		×	35		>50	>50	×
12		35		○	36		>50	>50	×
13		43	>50	○	37		27		△
14		49	19	×	38		>50		○
15		>50	>50	×	39		>50		×
16		50		○	40		42		△
17		>50		○	41		>50		×
18		15	27	○	42		>50		×
19		40	>50	○	43		>50	>50	○
20		17	>50	○	44		50	>50	○
21		>50		×	45		>50	39	×
22				×	46		46	>50	○
23				×	47		20	43	×
24				△	48		20		○
					49		10	剥離	○
					50		>50		×

備考：① 1インチ径の塩ビパイプ、接触面積=5.06cm²で除す。

② 1.5cm径のPP製パイプ(繊維入り)、接触面積=1.77cm²で除す。

③ 同上の一部繰り返し

④ 指による水平せん断破壊性 (○：軽く破壊する。×：簡単に破壊しない、△：その中間の状態) ——官能評価

(3) 手動式水滑転落角の測定

① 5° 間隔における最低水滴滑落角

No.	1	2	3	4	5	No.	1	2	3	4	5
1	10	25	35	45	40	2 5	15	25	30	45	45
2	15	25	40	45	40	2 6	15	20	30	40	45
3	15	25	35	45	40	2 7	15	20	35	40	45
4	15	25	40	45	45	2 8	15	25	30	40	45
5	15	25	40	45	45	2 9	15	>25	45	45	45
6	15	>25	35	45	45	3 0	15	>25	40	40	45
7	10	25	35	45	40	3 1	15	25	35	40	40
8	15	>25	35	40	40	3 2	15	>25	35	45	45
9	15	>25	35	45	40	3 3	15	>25	40	45	55
1 0	10	>25	40	40	45	3 4	20	>25	40	45	50
1 1	15	25	45	40	40	3 5	20	>25	40	45	40
1 2	15	>25	40	45	40	3 6	5	>25	40	40	<5
1 3	15	25	35	35	45	3 7	20	40	40	45	40
1 4	15	25	35	40	45	3 8	27	40	40	50	40
1 5	10	31	40	40	5	3 9	5	25	40	40	15
1 6	10	25	35	45	45	4 0	20	>25	50	45	50
1 7	10	25	40	40	45	4 1	20	>25	50	50	45
1 8	15	25	35	40	40	4 2	5	7	20	25	<5
1 9	10	25	35	40	45	4 3	15	>25	45	45	45
2 0	10	>25	35	40	50	4 4	20	>25	40	45	50
2 1	15	>25	35	40	45	4 5	20	>25	45	45	45
2 2	10	25	40	40	50	4 6	10	25	40	40	40
2 3	15	25	35	45	45	4 7	15	25	35	40	45
2 4	15	25	40	40	45	4 8	20	>25	35	45	40
						4 9	15	>25	20	30	45
						5 0	>20	>25	40	45	45

- <注> 1 : 初期
 2 : 水浸漬1週間
 3 : 水浸漬3週間
 4 : 水浸漬1ヶ月
 5 : 天然暴露1ヶ月

水滴量 : 60 μ L
 > 25 : 25 ~ 30° で転落

②水滴滑落開始角

No.	1	2	3	4	5	6	No.	1	2	3	4	5	6
1	12	31	42	44	46	47	2 5	7	22	39	44	49<	80
2	12	28	45	36	44	47	2 6	15	19	31	42	52	65
3	15	37	35	36	43<	48	2 7	14	25	47	44<	46	90<
4	12	35	43	49	45	55	2 8	9	30	34	37	49	45
5	17	37	42	43	43	45	2 9	11	32	41	43<	58<	45
6	20	36	49	51	55	65	3 0	14	39	42	40	53	74
7	8	31	36	47	47	55	3 1	12	39	38	43	51<	50
8	9	27	40	47	51	55	3 2	13	31	42	44	41	62
9	16	34	44	42	49	60	3 3	18	33	44	44	57	83
1 0	11	33	43	41	52	55	3 4	28	49	43	46	55	88
1 1	14	33	48	43	51	58	3 5	40	61	53	49<	60<	70
1 2	19	39	44	43	51	55	3 6	超撥水	11	54	39<	21	28
1 3	11	29	38	39	46	52	3 7	16	40	43	43	47	60
1 4	11	25	44	43	45	60	3 8	27	40	54	51	46	90<
1 5	11	31	40	38	48	90<	3 9	超撥水	20	48	55	31	28
1 6	9	31	40	44	47	56	4 0	22	43	37	50	56	50
1 7	11	31	39	38	46	80	4 1	42	62	56	52	50<	90<
1 8	9	23	37	41	48	58	4 2	超撥水	6	25	28	15	25
1 9	12	30	39	41	51	63	4 3	10	32	40	42<	45	52
2 0	13	33	41	40	49	60	4 4	17	36	46	42	57<	52
2 1	12	41	42	49	50	60	4 5	19	45	47	46	57	52
2 2	12	29	45	37	45	42	4 6	17	28	36	39	45	65
2 3	14	35	42	43	46	52	4 7	19	27	40	45	45	90<
2 4	10	42	40	38	46	45	4 8	15	31	44	38	45	59
							4 9	11	25	31	30	43	41
							5 0	38	42	45	38	48	53

<注> 1 : 初期
 2 : 水浸漬 1 週間
 3 : 水浸漬 3 週間
 4 : 水浸漬 1 ヶ月
 5 : 天然暴露 1 ヶ月
 6 : 天然暴露 7 ヶ月

水滴量 : 60 μ L

(4) 劣化塗膜の撥水性に関する定性評価試験及び初期塗膜の耐衝撃性試験

No.	撥水性試験		耐衝撃性試験	No.	撥水性試験		耐衝撃性試験
	A法	B法			A法	B法	
1	×	△	△	25	×	△—○	○
2	×	△	×	26	×	○	×
3	×	×	○	27	×	○	△
4	×	×	○	28	×	△	×
5	×	×	△	29	×	△	○
6	×	×	△	30	×	△	△
7	×	△—×	△	31	×	×	△
8	×	△	△	32	×	×	×
9	×	×	○	33	×	×	△
10	×	△	△	34	×	×	○
11	×	×	×	35	×	×	○
12	×	×	○	36	×	×	○
13	×	○	×	37	△	×	△
14	×	○	×	38	×	×	△
15	×	○	△	39	△	×	○
16	×	○	×	40	×	×	△
17	×	○	×	41	×	×	○
18	×	○	×	42	×	×	×
19	×	△	×	43	×	△	△
20	×	△	△	44	×	×	○
21	×	△	△	45	×	×	○
22	×	△	×	46	×	△	△
23	×	×	×	47	×	○	△
24	×	×	△	48	×	○	△
				49	△	○	×
				50	△	○	○

備考

①試験方法

*撥水性試験：

A法：水道水浸漬2ヶ月後に60μlの水道水を45°で滴下、滑落性を評価

B法：水道水に試験片を漬け一気に引き上げた時の水の弾き性を評価

*耐衝撃性試験：デュポン式（500g、1/4インチφ、50cm）

②評価基準

撥水性 ○：弾き易い
△：中間
×：弾きにくい

衝撃性 ○：異常なし
△：コーナー剥がれ
×：プライマーから剥がれ

(5) 表面自由エネルギー (mJ/m²または erg/cm²)

No.	促進耐候性試験時間					No.	促進耐候性試験時間				
	初期	100	200	300	400		初期	100	200	300	400
1	24	27	27	30	36	2 5	26	26	26	26	28
2	24	28	28	30	41	2 6	25	25	27	26	29
3	24	27	27	29	38	2 7	25	24	23	22	23
4	24	27	28	30	37	2 8	24	26	27	29	32
5	25	27	28	31	35	2 9	24	25	26	27	28
6	25	27	28	32	40	3 0	24	24	25	25	27
7	25	26	28	30	38	3 1	24	27	27	29	33
8	25	26	28	30	37	3 2	25	26	27	28	30
9	24	27	28	29	37	3 3	26	26	27	27	30
1 0	25	27	27	30	35	3 4	23	25	26	26	28
1 1	25	27	27	28	34	3 5	15	18	18	20	22
1 2	24	25	26	27	34	3 6					
1 3	24	26	26	27	30	3 7	24	25	26	26	30
1 4	24	26	26	26	28	3 8	12	16	18	18	27
1 5	24	25	26	24	27	3 9					
1 6	25	25	25	27	28	4 0	24	25	25	26	29
1 7	24	25	26	26	30	4 1	13	17	18	19	23
1 8	24	26	26	26	31	4 2					
1 9	24	26	29	29	38	4 3	25	26	27	28	33
2 0	24	25	26	28	33	4 4	25	25	26	27	32
2 1	24	26	26	27	32	4 5	23	25	25	26	28
2 2	24	27	27	29	34	4 6	14	26	28	28	33
2 3	24	26	27	31	34	4 7	14	24	24	24	28
2 4	24	26	26	27	34	4 8	13	23	22	22	27
						4 9	25	27	28	29	37
						5 0	32	38	41	42	46

2, 2, 3 まとめ

(1) 基材樹脂単独系

- ①供試樹脂はポットライフが短い、触媒量の調整により適正化ができることが可能であることを確認した。
- ②供試樹脂はそれ自身でも50 μ m以上の乾燥膜厚が得られ、気泡も発生しない。さらに常温(23 $^{\circ}$ C)で3時間程度で実用的かつ乾燥状態に達することを確認した。
- ③供試樹脂単独でもその塗膜は着氷防止性に関連する機能(水接触角、水滴滑落角、着氷付着力)を示すことを確認した。

(2) 微粒子配合系

- ①基本的性能としてテンシロンによる測定結果より、
 - a)標準品のポリウレタン塗料に比較し、水接触角が低く、着氷付着力においては初期状態で明らかにその値が低いことが判明した。
 - b)強制劣化により着氷付着力が上昇傾向にはあるが、フッ化ピッチ、フッ化黒鉛、シリコーン系、疎水性シリカ系、PTFE系で良好なものが見出された。
- ②冷凍室(-15 $^{\circ}$ C)でのプッシュプルゲージによる着氷付着力はジグの当て方により測定が困難になるものがあり、更なる測定方法の検討が必要である。
- ③水滴転落角は標準品のポリウレタン塗料に比較し著しく低く、疎水性シリカの高濃度型は超撥水性を示した。
- ④超撥水性を示した疎水性シリカ型は逆に着氷付着力が大きいことが判明、今後の検討課題となった。

(3) 試験方法についての考察

塗膜を水に直接長時間接触させた場合に、撥水性機能の低下が生ずることが明らかであり、今後の促進劣化の一つの有力な方法であることが判明した。更に水に直接濡らし、その時の水の弾き方を評価することも同様である。

3, 塗料化試験

前記供試樹脂の性状試験において、ふっ素/シリコーン複合樹脂塗膜の撥水性を確認すると共に、微粒子混合系の塗膜はより撥水性が大きく、着氷付着力、水滴転落角、水接触角という着氷防止機能に関連した代表特性が向上することが確認された。塗料化試験においては、この情報を駆使して最適塗料組成（配合）を検討するものである。

3, 1 塗料化試験（その1）

3, 1, 1 基材樹脂のポットライフの調整

塗料化のための基材樹脂のポットライフが、標準グレードで1hr（23℃）であり実用性の面ではクリアーするが、更に作業性を向上するために、樹脂の金属触媒量に着目し、ポットライフの延長処置を行った。

(1) 樹脂の触媒量の低減によるポットライフの調整

基材樹脂（現）/基材樹脂（触媒無し）系の混合比を変えることによりポットライフを測定した。

(2) 試験結果

時間 (hr) →	1	1.5	2	2.5	3	4
① A/B = 100/0	○	×	—	—	—	—
② " = 75/25	○	△増粘	—	—	—	—
③ " = 50/50	○	○	△増粘	—	—	—
④ " = 25/75	○	○	○	△増粘	×	—
⑤ " = 0/100	○	○	○	○	○	○ 4.5hr×

☆A：基材樹脂(現)、B：基材樹脂触媒無し)、主剤/硬化剤=5/1

☆測定法は攪拌状態より23℃での使用可能、不可能を判定する。使用可能：○
使用不能：×

参考までに耐候性グレードの基材樹脂のポットライフ測定結果を以下に示す。

時間 (hr) →	1	1.5	2	2.5	3	4
主剤/硬化剤=5/1	○	○	○	○	○	△

(3) まとめ

基材樹脂は触媒有り／触媒無し＝25／75～20／80が実用的であり、
 当面供試樹脂の組成を25／75（触媒有り／触媒無し）とし、改良樹脂名は「着
 氷防止コート剤S-2（T）」とする。

3, 1, 2 微粒子の選定

供試樹脂の性状試験において検討した各種微粒子の中で特に着氷付着力が低
 いものに着目し以下のものを選定した。

原材料No.	一般名	平均粒子径(m μ)	配合の目安、PHR
2	フッ化ピッチ	1	20>
6	シリコン複合パウダー	30	60>
9	シリコンゴムパウダー	5	60>
11	PTFEパウダー	7	40<
12	疎水性シリカ	4.9	20>
13	疎水性シリカ	2.1	20>
14	疎水性シリカ	1>	20>
15	メチルシリコンパウダー	20	60>
16	PTFE溶剤分散体	0.3	60>

(1) 配合設計のための微粒子の組成

① 微粒子単独系の選定：13種類

原材料No.	PHR (対樹脂固形分)	樹脂性状試験の試料No.
2	10	No.4
	20	
6	60	No.18
	20	No.25
	40	No.26
9	60	No.27
	40	No.32
	60	No.33
12	20	No.34
13	20	No.37
14	20	No.40
15	60	No.45
16	60	No.48

②微粒子混同系の組合せ：14種類

配合の基本的考え方は、1) 高濃度のものを低濃度品で量的に緩和する、2) 低濃度のものを2種類以上混合し、相乗効果を狙い、以下の組成とした。

原材料No. (組合せ)	PHR (対樹脂固形分)	計
6 / 1 3	40 / 20	60 ↓
6 / 1 4	40 / 20	
9 / 1 3	40 / 20	
9 / 1 4	40 / 20	
1 1 / 1 3	40 / 20	
1 1 / 1 4	40 / 20	
1 5 / 1 3	40 / 20	
1 5 / 1 4	40 / 20	
1 6 / 1 3	40 / 20	
1 6 / 1 4	40 / 20	
6 / 9 / 1 1	20 / 20 / 20	
9 / 1 1 / 1 3	20 / 20 / 20	
9 / 1 1 / 1 4	20 / 20 / 20	
1 2 / 1 3 / 1 4	20 / 20 / 20	

3, 1, 3 試作配合

基材樹脂はポットライフ調製品を用いて、分散機により試作した。樹脂のA剤は35%、B剤（硬化剤）は43%、混合比=5/1である。

□主剤---A剤

【 試料No.5 1 ~ 5 6 】

No.	5 1	5 2	5 3	5 4	5 5	5 6
樹 脂	95.7	92.1	65.4	92.1	76.4	65.4
2	4.1	7.9				
6			17.0			
9				7.9	13.2	17.0
1 1						
1 5						
1 6						
1 2						
1 3						
1 4						
溶 剤	—	—	17.6	—	10.4	17.6
計	100	100	100	100	100	100

□硬化剤---B剤（イソシアヌレート系（43%）100部）

A/B	84/16	84.4/15.6	88.4/11.6	84.4/15.6	86.8/13.2	88.4/11.6
-----	-------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

□主剤---A剤

【57～62】

No.	57	58	59	60	61	62
樹脂	76.4	65.4	92.1	92.1	92.1	65.4
6						
9						
11	13.2	17.0				
15						17.0
16						
12			7.9			
13				7.9		
14					7.9	
溶剤	10.4	17.6	—	—	—	17.6
計	100	100	100	100	100	100

□硬化剤---B剤（イソシアヌレート系（43%）100部）

A/B	86.8/13.2	88.4/11.6	84.4/15.6	84.4/15.6	84.4/15.6	88.4/11.6

□主剤---A剤

【63～68】

No.	63	64	65	66	67	68
樹脂	53.7	65.4	65.4	65.4	65.4	65.4
6		11.3	11.3			
9				11.3	11.3	
11						11.3
15						
16	46.3					
12						
13		5.7		5.7		5.7
14			5.7		5.7	
溶剤	—	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6
計	100	100	100	100	100	100

□硬化剤---B剤（イソシアヌレート系（43%）100部）

A/B	90.3/9.7	88.4/11.6	88.4/11.6	88.4/11.6	88.4/11.6	88.4/11.6

□主剤---A剤

【69～74】

No.	69	70	71	72	73	74
樹脂	65.4	65.4	65.4	60.2	60.2	65.4
6						5.7
9						5.7
11	11.3					5.7
15		11.3	11.3			
16				34.6	34.6	
12						
13		5.7		5.2		
14	5.7		5.7		5.2	
溶剤	17.6	17.6	17.6	—	—	17.5
計	100	100	100	100	100	100

<硬化剤---B剤> (イソシアヌレート系 (43%))

A/B	88.4/11.6	88.4/11.6	88.4/11.6	89.2/10.8	89.2/10.8	88.4/11.6
-----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

□主剤---A剤

【75～77】

No.	75	76	77
樹脂	65.4	65.4	65.4
6			
9	5.7	5.7	
11	5.7	5.7	
15			
16			
12			5.7
13	5.7		5.7
14		5.7	5.7
溶剤	17.5	17.5	17.5
計	100	100	100

□硬化剤---B剤 (イソシアヌレート系 (43%) 100部)

A/B	88.4/11.6	88.4/11.6	88.4/11.6
-----	-----------	-----------	-----------

3, 1, 4 比較対象塗料

- No.78、ポリウレタン塗料
- No.79、アルキド上塗り塗料
- No.80、塩化ゴム系上塗り塗料
- No.81、基材樹脂(クリヤー)

3, 1, 5 塗装方法

- (1) 各試料を規定の混合割合で調整し、原則無希釈で150 μ アプリケーションで塗装した。
- (2) 環境温度36 $^{\circ}$ C、塗料温度34 $^{\circ}$ Cで、ポットライフは2hrsを確認した下上で対応した。
- (3) 試験板は70 \times 150 \times 3.2mm t (ブラスト板) に各試料を2枚、70 \times 200 \times 0.8mm t (化成処理 \rightarrow エポキシプライマー塗装) に各試料を1枚塗装した。

3, 1, 6 試験項目

- (1) 水滴滑落角の測定 (初期及び水浸漬7日後)
- (2) 着氷付着力試験 (-15 $^{\circ}$ C冷凍室、初期/水浸漬後、PPG法)
- (3) 着氷付着力試験 (テンシロン)
- (4) 水接触角/表面自由エネルギー

3, 1, 7 実験結果

(1) 水滴滑落角 (20度での滑落の程度)

No.	初 期	水浸漬7日	No.	初 期	水浸漬7日
5 1	○	△	6 6	×	×
5 2	○	×	6 7	×	×
5 3	○	△	6 8	×	×
5 4	○	○	6 9	×	×
5 5	○	○	7 0	×	×
5 6	○	○	7 1	×	×
5 7	○	×	7 2	△	×
5 8	○	×	7 3	△	×
5 9	△	×	7 4	○	×
6 0	△	×	7 5	○	×
6 1	×	×	7 6	×	×
6 2	×	×	7 7	◎	◎
6 3	○	×	7 8	×	×
6 4	○	×	7 9	×	×
6 5	×	×	8 0	×	×
			8 1	○	○

有：○ 無：× 中間：△

(2) 着氷付着力試験 (-15℃冷凍室)

<初期値>

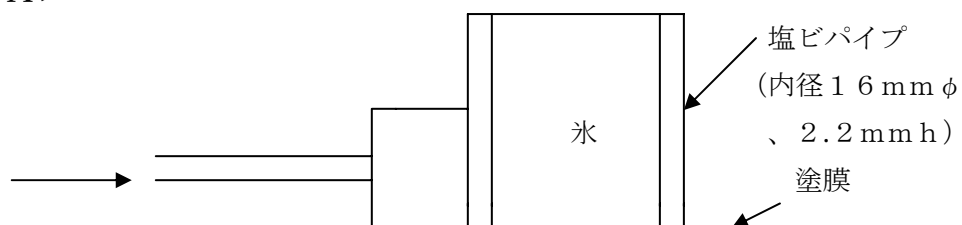
No.	付着力 (PPG)				付着性(定性的評価)				総合評価
	A	B	C	D	1	2	3	判定	
5 1	>50	>50	26	>50	+1	+2	+1		
5 2	>50	>50	24	50	+2	+2	+1		
5 3	>50	>50	5	44	+1	+2	+2		☆
5 4	>50	16	22	42	+2	+2	+2	◎	☆
5 5	>50	>50	24	—	+2	+2	+2	◎	☆
5 6	>50	>50	9	—	+2	+2	+2	◎	☆
5 7	>50	>50	29	48	+2	+2	+1		☆
5 8	>50	>50	24	>50	+1	+2	+2		☆
5 9	>50	>50	13	>50	+1	+1	+2		
6 0	>50	>50	—	>50	+2	+1	+2		
6 1	>50	>50	9	>50	+2	+2	+2	◎	☆
6 2	>50	>50	39	>50	+2	+2	+1		
6 3	>50	>50	45(c)	>50	+1	+1	+1		
6 4	>50	>50	4	>50	+1	+2	+2		☆
6 5	>50	>50	33	>50	+2	+2	+1		
6 6	>50	>50	37	>50	+2	+2	+1		
6 7	>50	>50	28	>50	+2	+2	+1		
6 8	>50	>50	—	>50	+2	+2	+1		
6 9	>50	>50	31	>50	+1	+1	+1		
7 0	>50	>50	33	—	+1	+2	+2		
7 1	>50	>50	44(c)	29	+2	+1	0		
7 2	>50	>50	31	>50	+1	+1	+2		
7 3	>50	>50	29	>50	+1	+1	+1		
7 4	>50	>50	—	>50	+1	+1	+2		
7 5	>50	>50	4	>50	+1	+2	+2		☆
7 6	>50	>50	6	>50	+2	+1	+2		☆
7 7	>50	>50	22	>50	0	+1	+1		
7 8	>50	>50	>50(c)	>50	+1	0	+1		
7 9	>50	>50	29(c)	>50	0	0	0		
8 0	>50	>50	44(c)	>50	+1	+1	0		
8 1	>50	>50	21	39	+1	+1	0		

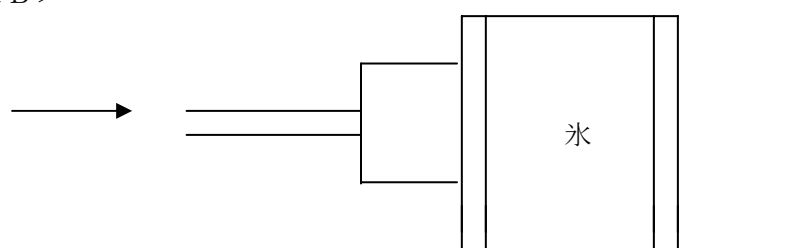
<備考>

①着氷付着力 (プッシュプルスケール)

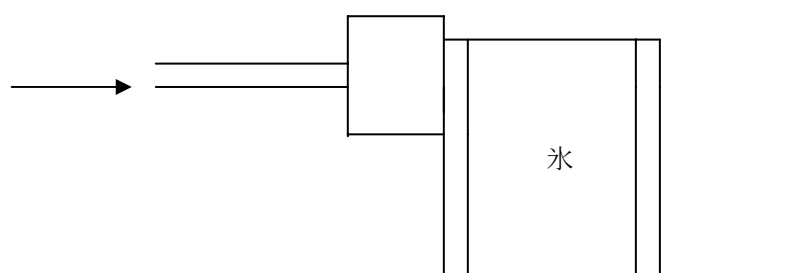
プッシュ用Z I Gのセッティングにより以下のように区分し測定した。

<A>

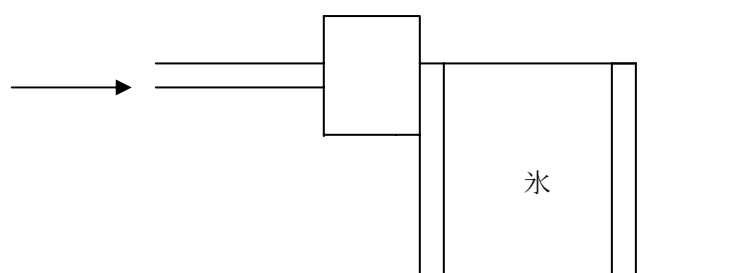




<C>



<D>



②付着性(定性的評価)

1 m l の水で円形状氷を作製し、側面より塩ビパイプの端面を指押しし、油性塗膜の剥離のし易さを「0点」とした場合、「+1」はより簡単に剥離する、「+2」は更に簡単に剥離すると評価した。(c)は Cohesive fracturing(凝集破壊)で、氷が塗面荷強固に付着している状態で付着力が大きく、極めて不良と判断できる。

<水浸漬40日後>

No.	N(C式)	剥離形態	No.	N(C式)	剥離形態
5 1	>50	氷の凝集破壊	6 6	>50	層間剥離
5 2	>50	↓	6 7	>50	氷の凝集破壊
5 3	>50	層間剥離	6 8	>50	
5 4	>50	↓	6 9	>50	
5 5	38	↓	7 0	>50	
5 6	42	↓	7 1	>50	
5 7	50	↓	7 2	>50	
5 8	失敗	氷の凝集破壊	7 3	>50	↓
5 9	>50		7 4		層間剥離
6 0	43	層間剥離	7 5	>50	氷の凝集破壊
6 1	>50	氷の凝集破壊	7 6	>50	
6 2	>50	↓	7 7	>50	
6 3	45	↓	7 8	>50	
6 4	>50	↓	7 9	>50	
6 5	>50	↓	8 0	>50	↓
			8 1	>50	層間剥離

(3) 着氷付着力試験 (テンシロン)

No.	初期	キセノン 400hr	No.	初期	キセノン 400hr
5 1	30	>71	6 6	6	51
5 2	3	50	6 7	17	>71
5 3	8	44	6 8	12	54
5 4	0	51	6 9	1	38
5 5	1	47	7 0	9	>71
5 6	6	46	7 1	32	57
5 7	7	34	7 2	8	44
5 8	4	38	7 3	1	31
5 9	7	38	7 4	10	38
6 0	14	46	7 5	8	45
6 1	2	43	7 6	14	38
6 2	0	55	7 7	>71	>71
6 3	7	38	7 8	>71	>71
6 4	8	46	7 9	62	>71
6 5	6	55	8 0	48	>71
			8 1	23>	71

(4) 水接触角／表面自由エネルギー

<水接触角 (度) >

No.	初期	キセノン 400hr	No.	初期	キセノン 400hr
5 1	102	88	6 6	110	104
5 2	102	89	6 7	113	111
5 3	106	95	6 8	110	102
5 4	104	95	6 9	112	101
5 5	105	98	7 0	116	106
5 6	108	102	7 1	120	112
5 7	105	91	7 2	108	100
5 8	102	95	7 3	108	98
5 9	107	94	7 4	108	100
6 0	105	93	7 5	108	101
6 1	107	97	7 6	113	103
6 2	110	97	7 7	152	142
6 3	102	89	7 8	94	65
6 4	109	98	7 9	87	54
6 5	111	100	8 0	90	39
			8 1	102	86

<表面自由エネルギー>

No.	初期	キセノン 400hr	No.	初期	キセノン 400hr
5 1	24	29	6 6	24	24
5 2	25	28	6 7	23	25
5 3	23	26	6 8	23	25
5 4	24	26	6 9	23	25
5 5	24	24	7 0	21	25
5 6	25	24	7 1	19	24
5 7	24	27	7 2	23	25
5 8	24	26	7 3	23	25
5 9	23	27	7 4	24	24
6 0	24	27	7 5	23	25
6 1	23	26	7 6	23	24
6 2	23	26	7 7	—	—
6 3	24	28	7 8	28	42
6 4	23	25	7 9	31	49
6 5	23	25	8 0	30	59
			8 1	25	30

3, 1, 8 まとめ

- (1) キセノンアークと水浸漬による劣化による評価で着氷付着力の相関性は明確ではない。
- (2) 水浸漬後の氷の剥離形態は氷の凝集破壊が多く、塗膜と層間で剥がれたものは、No.53 (シリコン複合)、No.54～56 (シリコンゴム)、No.13 (疎水性シリカの20%)、No.66 (シリコンゴム/疎水性シリカ)、No.74 (シリコン複合/シリコンゴム/PTFE)のみであり総じてシリコンゴムに関連した組成が良好といえる。
- (3) 水接触角は劣化後 (キセノンアーク400hr) も100度近傍のものもあるが、No.77 (疎水性シリカ3種混合、60%)は142度を示しているにも拘らず着氷付着力が高く、特例として解析が必要である。しかしながら、既存塗料 (No.78, 79, 80) は65以下であり、着氷付着力、着氷付着性に関連すると思われる。
- (4) 表面自由エネルギーも既存塗料が30～60で、試作品は全て20台で着氷付着力、付着性に関連することは明確である。
- (5) 水滴転落角はシリコンゴムが良好、疎水性シリカは最良であるが、上記(3)と同様、着氷付着力、着氷付着性と平行ではない。

3, 2 塗料化試験 (その2)

シリコーン系微粒子の効果がかなり期待される状況になっており、未着手の当該材料を検討することとした。

3, 2, 1 供試シリコーン系微粒子

原材料No.	原材料の名称	平均粒子径 ($\mu\text{m}\phi$)
17	シリコーンゴム/レジン複合系	12 $\mu\phi$ 、(球状)
18	〃	2 $\mu\phi$ 、(〃)
19	シリコーンゴム	13 $\mu\phi$ 、(〃)
20	〃	5 $\mu\phi$ 、(〃)
21	〃	40 $\mu\phi$ 、(不定形)
22	シリコーンレジン	3.5 $\mu\phi$ (球状)
23	シリコーンレジン	0.8 $\mu\phi$ (球状)
24	〃	0.8 $\mu\phi$ (〃)

3, 2, 2 試作配合

各種シリコーン系微粒子を樹脂固形分当り、20, 40, 60%配合する。前述塗料配合No.54, 55, 56を基準に設定した。樹脂は「S-2(T)」を適用する。

□主剤---A剤

(82~87)

No.	82	83	84	85	86	87
樹脂	92.1	76.4	65.4	92.1	76.4	65.4
17	7.9	13.2	17.0			
18				7.9	13.2	17.0
19						
20						
21						
22						
23						
24						
溶剤	—	10.4	17.6	—	10.4	17.6
計	100	100	100	100	100	100

□硬化剤---B剤{イソシアヌレート系 (43%) 100部}

A/B	84.4/15.6	86.8/13.2	88.4/11.6	84.4/15.6	86.8/13.2	88.4/11.6

□主剤---A剤

(88~93)

No.	88	89	90	91	92	93
樹脂	92.1	76.4	65.4	92.1	76.4	65.4
17						
18						
19	7.9	13.2	17.0			
20				7.9	13.2	17.0
21						
22						
23						
24						
溶剤	—	10.4	17.6	—	10.4	17.6
計	100	100	100	100	100	100

□硬化剤---B剤{イソシアヌレート系(43%)100部}

A/B	84.4/15.6	86.8/13.2	88.4/11.6	84.4/15.6	86.8/13.2	88.4/11.6
-----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

□主剤---A剤

(94~99)

No.	94	95	96	97	98	99
樹脂	92.1	76.4	65.4	92.1	76.4	65.4
17						
18						
19						
20						
21	7.9	13.2	17.0			
22				7.9	13.2	17.0
23						
24						
溶剤	—	10.4	17.6	—	10.4	17.6
計	100	100	100	100	100	100

□硬化剤---B剤{イソシアヌレート系(43%)100部}

A/B	84.4/15.6	86.8/13.2	88.4/11.6	84.4/15.6	86.8/13.2	88.4/11.6
-----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

□主剤---A剤

(100~105)

No.	100	101	102	103	104	105
樹脂	92.1	76.4	65.4	92.1	76.4	65.4
17	/					
18						
19						
20						
21						
22						
23	7.9	13.2	17.0			
24				7.9	13.2	17.0
溶剤	—	10.4	17.6	—	10.4	17.6
計	100	100	100	100	100	100

□硬化剤---B剤{イソシアヌレート系(43%) 100部}

A/B	84.4/15.6	86.8/13.2	88.4/11.6	84.4/15.6	86.8/13.2	88.4/11.6
-----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

以上24種類の配合をデイスパー攪拌により各々200g試作する。

3, 2, 3 試験項目

- (1) 水滴転落角の測定(初期及び水浸漬による劣化後)
- (2) 着氷付着力試験および着氷性試験(冷凍室、初期/劣化後)
- (3) 着氷付着力試験(テンシロン試験)
- (4) 水接触角/表面自由エネルギー

3, 2, 4 比較対象塗料

No.78、ポリウレタン塗料

No.79、アルキッド上塗り塗料(油性系)

No.80、塩化ゴム系上塗り塗料

No.81、基材樹脂(クリヤー)

No.106 樹脂 65.4

No.9 17.0

No.14 2.9

溶剤 11.9

計 100.0

No.107 樹脂 65.4

No.9 19.9

溶剤 14.7

計 100.0

No.106、No.107共に

主剤/硬化剤=88.4/11.6

さらに以下のものを追加した。

- | | | |
|--------|--|-------------|
| 追加試料—① | No. 5 6 の再試験 (シリコーンゴム微粒子No. 9 を 6 0 %
配合) | |
| 追加試料—② | 実地試験用試料—A | 巡視船「れぶん」供試品 |
| 追加試料—③ | 実地試験用試料—B | |
| 追加試料—④ | 実地試験用試料—C | |
| 追加試料—⑤ | 実地試験用試料—D | |
| 追加試料—⑥ | 実地試験用試料—E | |

3, 2, 5 実験結果

(1) 水滴滑落角度

No.	初期(20度)	水浸漬7日後	水浸漬3週間後	総合評価
8 2	○	27	55	
8 3	○	37	57	
8 4	○	24	50	
8 5	○	35	55	
8 6	○	45	55	
8 7	○	60	60	
8 8	○	25	30	○
8 9	○	18	30	○
9 0	○	27	50	
9 1	○	35	35	○
9 2	○	27	40	△
9 3	○	25	37	△
9 4	○	27	40	
9 5	○	20	37	○
9 6	○	25	40	
9 7	○	50	50	
9 8	○	35	35	○
9 9	○	40	50	
1 0 0	○	30	40	
1 0 1	○	45	45	
1 0 2	○	45	50	
1 0 3	○	45	45	
1 0 4	○	40	52	
1 0 5	○	45	50	
1 0 6	×	65	65	
1 0 7	○	24	40	
5 6	○	24	35	○
7 8	×	70	70	
7 9	×	70	70	
8 0	×	55	60	△
8 1	○	25	40	
P T F E	○	20	35	

(2) 着氷付着力、着氷性試験
 <初期>

No.	着氷付着力、N		着氷性	着氷破壊形態	総合評価
	C法	A法			
8 2	23	>50	C	層間剥離	
8 3	18	>50	A		
8 4	23	>50	A		
8 5	18	>50	A		
8 6	31		A		
8 7	>50		B		
8 8	22	50	B		
8 9	34		B		
9 0	26	>50	B		
9 1	11	47	C		
9 2	22	>50	B		
9 3	5	>50	C		
9 4	18	45	C		
9 5	11	47	B		
9 6	21	27	C		
9 7	29		A		
9 8	21	>50	C		
9 9	42		B		
1 0 0	25	>50	B		
1 0 1	38		A		
1 0 2	27		A		
1 0 3	30		A		
1 0 4	>50		A		
1 0 5	32		A		
1 0 6	48		A		
1 0 7	19	50	A		
5 6	16	48	A	↓	
7 8	>50		C	凝集破壊	
7 9	>50		C	層間剥離	
8 0	>50		C	凝集破壊	
8 1	14	26	B	凝集破壊	

P T F E	18	>50	C	層間剥離	
A	25	>50	C	凝集破壊	
B	11	>50	B	層間剥離	
C	32	46	C		
D	27	>50	C		
E	14	>50	C		

<水浸漬2週間による劣化後>

No.	着氷付着力 (C法)	着氷性試験	
		0.8 mm t 鋼板	3.2 mm t 鋼板
8 2	>50	B	C
8 3	>50	B	
8 4	>50	B-C	
8 5	>50	B-C	
8 6	>50	B-C	
8 7	>50	B-C	
8 8	50	B	
8 9	21	B-C	
9 0	39	B-C	
9 1	>50	C	
9 2	>50	B	
9 3	35	B	
9 4	39	C	
9 5	20	A-B	
9 6	26	C	
9 7	39	C	
9 8	>50	B-C	
9 9	>50	C	
1 0 0	>50	C	
1 0 1	>50	A-B	
1 0 2	>50	C	
1 0 3	>50	B-C	
1 0 4	>50c	B-C	
1 0 5	22	C	C
1 0 6	>50	C	

107	28	B	
56	33/14	B	
78	>50	C	
79	>50	C	
80	>50	C	
81	>50	C	
PTFE	>50	C	
A	11	X	
B	27		
C	failed		
D	41		
E	34		
			6 h r s

<追加試験> 15 mm厚の人工海水氷の除去性試験

人工海水 (SEALIFE, 株マリン.テック製) により直方体 (約15 mm厚) を作り (-15°C、18 h r s 放置) 手による除去性を評価した。

	油性塗膜	No.56 試作品
着氷除去性	△ (除去するのに少し力が必要)	○ (簡単に除去)

氷の生成状態が脆弱なため、再テストが必要。但し、開発品の効果は確認された。

★ 備考：着氷性の評価について

着氷性は、塗装鋼板を-15°Cに一定時間放置した後、これを0°Cに近い水と接触 (水中) した時、

A：着氷状態が20%以下

B：着氷状態が20~40%

C：着氷状態が40%以上

を判定基準とした。

(3) 着氷付着力試験 (テンシロン、 $\times 10^{-2}$ MPa)

No.	初期	キセノン 400hr	No.	初期	キセノン 400hr
56	12	49	93	6	40
78	>71	>71	94	0.8	49
79	>71	>71	95	3	52
80	>71	>71	96	6	45
81	36	>71	97	13	32
82	13	35	98	14	23
83	11	31	99	8	27
84	9	48	100	39	42
85	22	45	101	34	58
86	15	39	102	32	39
87	23	34	103	15	43
88	3	46	104	12	38
89	18	60	105	10	26
90	28	47	106	11	42
91	6	55	107	8	47
92	3	40	PTFE	22	20

(4) 水接触角/表面自由エネルギー

<水接触角 (度)>

No.	初期	キセノン 400hr	No.	初期	キセノン 400hr
56	108	108	93	101	88
78	83	63	94	103	92
79	85	46	95	105	95
80	86	9	96	101	87
81	100	82	97	104	86
82	106	93	98	105	85
83	106	91	99	105	88
84	107	100	100	103	84
85	110	100	101	102	84
86	103	85	102	104	85
87	102	89	103	102	85
88	105	94	104	102	87
89	103	91	105	105	88
90	107	93	106	112	116
91	108	101	107	106	104
92	101	85	PTFE	108	106

＜表面自由エネルギー＞

No.	初期	キセノン 400hr	No.	初期	キセノン 400hr
5 6	25	23	9 3	27	27
7 8	33	43	9 4	25	28
7 9	32	55	9 5	25	27
8 0	31	72	9 6	25	25
8 1	25	32	9 7	25	30
8 2	25	29	9 8	24	30
8 3	24	27	9 9	24	30
8 4	24	25	1 0 0	24	30
8 5	25	30	1 0 1	24	31
8 6	24	30	1 0 2	24	30
8 7	24	28	1 0 3	24	30
8 8	24	27	1 0 4	24	30
8 9	25	23	1 0 5	24	29
9 0	25	23	1 0 6	24	21
9 1	25	30	1 0 7	24	23
9 2	26	28	P T F E	19	20

3, 2, 6 まとめ

- (1) 難着氷性の目安となる付着性(定性的評価)は鋼板の厚みによる差が大きく薄板は着氷しにくい状況を多くの試料に見出すことができた。厚板は瞬時に着氷するが、熱容量の差の可能性もある。また薄板は船舶以外への適用に有効であると思われる。
- (2) 既存塗料は全般に着氷し易く、更に強制剥離した場合の界面は氷そのものの凝集破壊であり、易除去性の面でも問題が多い。
- (3) 水浸漬による劣化により着氷付着力、着氷性が低下することが更に明確になった。しかしP T F Eは着氷しやすいが、着氷付着力において初期と劣化後(水浸漬)の差が認められないことが判明した。これはP T F Eそのものの劣化しにくい性質が現れたものと考えられる。
- (4) 劣化後の水接触角と着氷付着力の関係をみると、既存品の水接触角は9～63で、着氷付着力は71以上で明らかに不良、一方試作品の水接触角が84～116で高く、しかも着氷付着力は概ね20～50であるが二つの要素は無相関に近く、個々の微粒子について更なる詳細検討が必要と思われる。

3, 3 塗料化試験 (その3)

ここではこれまでの配合を再吟味し、併せて実態に見合う試験方法を検討し本年度の最終絞込みのための試作試験および性能試験を行う。

3, 3, 1 供試微粒子の種類と配合部数

No.	微粒子原料No.	原材料名	配合部数	
108	5	シリコーン系粉末	40	
109	6	↓		
110	7	↓		
111	8	↓		
112	9	↓		
113	10	PTFE粉末		
114	11	↓		
115	15	シリコーン系粉末		
116	17	↓		
117	18	↓		
118	19	↓		
119	20	↓		
120	21	↓		
121	22	↓		
122	23	↓		
123	24	↓		
78	ウレタン	市販品		
79	アルキド (OL)	市販品		
80	塩化ゴム (CR)	市販品		
124	ビニル (V)	市販品		
—	PTFE	溶射鋼板		
81	基材樹脂	ブランク		

3, 3, 2 配合 (No.108~No.123)

これまでに検討した40%配合品をベースにした設計で試作する。

基本配合は 主剤：樹脂 76.4 主剤/硬化剤 (B剤) =86.8/13.2
 微粒子 13.2 とした。
 溶剤 10.4

	1 0 8	1 0 9	1 1 0	1 1 1
樹脂	76.4	←	←	←
No.5	13.2			
No.6		13.2		
No.7			13.2	
No.8				13.2
ウレタンシンナー	10.4	←	←	←
計	100.0	←	←	←

	1 1 2	1 1 3	1 1 4	1 1 5
樹脂	76.4	←	←	←
No.9	13.2			
No.10		13.2		
No.11			13.2	
No.15				13.2
ウレタンシンナー	10.4	←	←	←
計	100.0	←	←	←

	1 1 6	1 1 7	1 1 8	1 1 9
樹脂	76.4	←	←	←
No.17	13.2			
No.18		13.2		
No.19			13.2	
No.20				13.2
ウレタンシンナー	10.4	←	←	←
計	100.0	←	←	←

	1 2 0	1 2 1	1 2 2	1 2 3
樹脂	76.4	←	←	←
No.21	13.2			
No.22		13.2		
No.23			13.2	
No.24				13.2
ウレタンシンナー	10.4	←	←	←
計	100.0	←	←	←

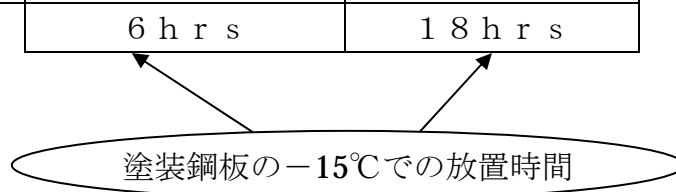
3, 3, 3 試験項目

- (1) 着氷付着力測定(P P GによるC法)
- (2) 着氷性 (−15℃冷却塗装表面への0℃人工海水の散布試験)、
- (3) 屋外暴露試験 (06, 11, 6～)

3, 3, 4 試験結果

- (1) 着氷付着力、着氷性 (初期値)

No.	着氷付着力 (C法)	着氷性試験(人工海水)	
		0.8 mm t 鋼板	3.2 mm t 鋼板
108	>50	A	B-C
109	28	A	C
110	36	A	C
111	>50	A	C
112	30	A	B-C
113	50	A	B-C
114	30	A	B
115	44	A	B-C
116	35	A	B-C
117	50	A	C
118	26	A	B-C
119	17	A	B-C
120	30	B	C
121	>50c-50	A	A-B
122	18	A	A-B
123	40	A	C
78	>50c	C	C
79	>50c	C	C
80	>50c	A	C
124	>50c 僅少	C	C
PTFE	41	C	C
81	19	C	C
		6 h r s	1 8 h r s



(2) 着氷付着力、着氷性（水浸漬2週間後）

試料No.	着氷付着力(ブラスト板、C法)		着氷性試験(ブラスト板、水道水)	
	1回目	2回目	着氷状態	除去性 (ハンマー)
108	>50	39	付着有	△(C)
109	43	28		○
110	42	20		△(C)
111	39	15		○(C)
112	12	26		○
113	44	12		△
114	50	16		△
115	32	32		△(C)
116	42	22		○
117	32	28		○(C)
118	22	19		△
119	22	20		△
120	40	18		△
121	37	31		△(C)
122	36	19		△
123	32	25		△
78	>50	X		×
79	>50			△
80	>50			△
124	>50			△
81	45		↓	×

① P T F E 板は **lossed under delivery**

② 製氷水は水道水を使用した。

③ 着氷付着力：1回目は製氷時間6時間、2回目は1時間

④ 着氷性：(C) は氷の凝集物残存認められる。

(3) 屋外暴露試験

試料No.	期間：6ヶ月	期間：10ヶ月		判定
	撥水性	撥水性	水滴滑落角(°)	
108	△→○	×	60	
109	○	△～○	60	☆
110	×	×	60	
111	×	×	55	
112	△→○	×	60	
113	×	×	60	
114	×	×	60	
115	×	××	60	
116	○	×	60	
117		×	65	
118	○	×	60	
119	△→○	×	60	
120	×	×	68	
121	×	×	60	
122	×	△	60	★
123	×	×	60	

全般に汚染が進んでおり、撥水性に関しては、シリコン複合系(109)が優れているが、水滴転落角との関連性が見出せなかった。

3, 3, 5 まとめ

- (1) 人工海水は-15℃でも硬い氷にならない(配合塩類の影響か?)
- (2) 鋼板の厚みによる着氷性に差を再確認した。
- (3) 現行船舶塗料は全て初期段階で着氷し易い(本試験で用いた塩化ゴム系は良好であった)。
- (4) PTFEは明らかに着氷する。付着力も2kgf/cm²程度を示す。
- (5) 樹脂自身は着氷付着力は低い、着氷性に劣り微粒子効果が明白である。
- (6) 長期暴露でシリコンゴム、同複合系が良好であることを確認した。

4, 実地試験

船舶を主体とした実地試験（実船塗装）を行うこととし、対象船を官船と漁船とした。

4, 1 巡視船「れぶん」での実地試験－1（塗装作業の概要）

塗料化試験（その1）より、シリコーンゴム粉末系が比較的安定した着氷防止代表特性機能を示した結果をベースに、更なる要素を組み入れた組成により、海上保安庁の協力の支援をいただき実地試験を行った

4, 1, 1 供試塗料

基本配合は塗料化試験（その1）のNo.56（パウダー60%）とする。

(1) 数値の確認

主剤 樹脂（35%） 配合中の部数 65.4

硬化剤 イソシアヌレート（43%） 配合部数 100

主剤/硬化剤 = 88.4 / 11.6

樹脂固形分の算定

主 剤 65.4 × 0.884 × 0.35 = 20.23

硬化剤 100 × 0.116 × 0.43 = 4.988

合計 = 25.22

(2) 配合

	A	B	C	D	E
主剤 樹脂	65.4	75.4	60.3	65.4	60.3
No.9	17.0	13.1	18.37		
No.19				17.0	18.37
溶剤	17.6	11.5	21.33	17.6	21.33
計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
主/硬	88.4/11.6	86.9/13.1	89.2/10.8	88.4/11.6	89.2/10.8
微粒子%	60	40	70	60	70
NVM(%)	～ 約 40 ～				

4, 1, 2 塗装作業のプロセス

H18, 9, 25～29に函館どつく株式会社に修理に入った第一管区海上保安本部所属の巡視船「れぶん」にて実地試験を行った。塗装箇所は砲座周囲、ブルワークトップ面及びスタンションの一部とした。

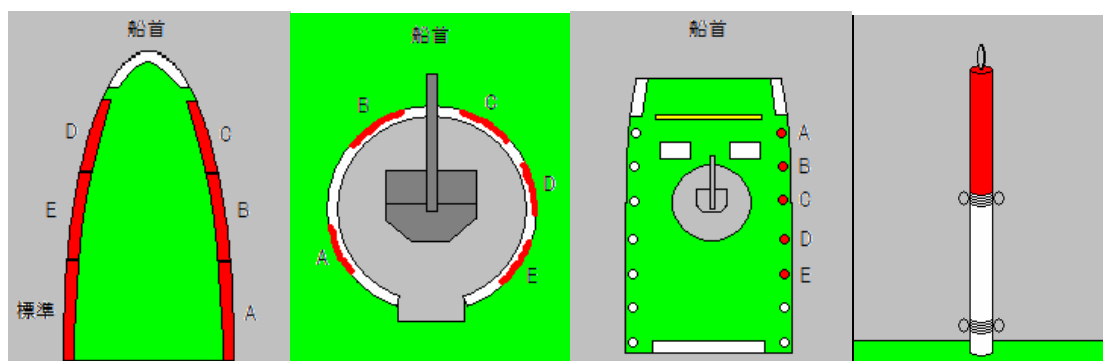
以下塗装概要を示す。

(1) 塗装作業記録

日付	作業内容	
9 / 26 (晴)	AM	函館どつく訪問、安全教育受講
	PM	本船訪問、簡単な打ち合わせ（主席航海士）、7日前に塗装したばかりなので簡単な表面処理（ウエス拭きで異物を除去）しテープ養生後変性エポキシを塗装。
9 / 27 (雨)	AM	本船訪問、降雨のため作業中止
	PM	一管管理係長に面談、作業内容の確認、主席航海士に塗料内容を説明。協力を要請。
9 / 28 (晴)	AM	表面処理（ウエス拭きで表面乾燥）後ウレタン塗料（中塗り処置）を塗装。
	PM	29日試運転との情報より、急遽この日に最終塗装（着氷防止塗料試作品）を行うことにした。塗装間隔約7時間（快晴、21℃）。2回塗り／日は主航士に事前了承を得る。

(2) 塗装箇所

①ブルワークトップ ②40mm砲座周囲 ③スタンション



右舷スタンション船首より5本。半分から上を塗装。

(3) 塗装記録

☆ブルワークトップ (塗装前の状態)



☆ブルワークトップ (塗装作業)



☆ブルワークトップ (塗装完了)



4, 1, 3 調査方法

(1) 調査実施時期

冬季において船体着氷が発生した都度、別添データシートにて調査実施をお願いします。また調査結果の報告については、5項目のフローに従い随時電子メールにて報告をお願いいたします。

(2) 着氷状態の評価基準

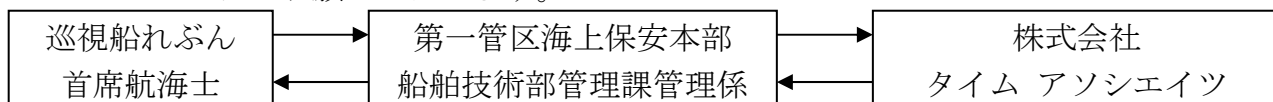
標準塗料と比較して、着氷量が非常に少ない・・・「◎」
着氷量が少ない・・・「○」
着氷量が同等・・・「—」
着氷量が多い・・・「×」

(3) 着氷除去性（ハンマーリング）の評価基準

標準と料に比較して、非常に除去し易い・・・「◎」
除去し易い・・・「○」
同等・・・「—」
除去し難い・・・「×」

4, 1, 4 要請事項

(1) 情報（報告書や記録写真など）の伝達は、下記フローに従い電子メールにてお願いいたします。



(2) 試験塗装箇所の保存について

平成20年1月31日まで試験塗装箇所の補修（上塗り再塗装）を行わないよう、乗組員各位に周知徹底いただくこと。

(3) 弊社連絡先

(株)タイム アソシエイツ (TEL03-3234-4443)
技術開発室 佐野俊一
(E-mail sano@time-associates.com)

4, 2 巡視船「れぶん」での実地試験－2（中間調査）

実船塗装後10カ月に達したため、自主的に中間調査を実施した。

4, 2, 1 中間調査結果（10ヶ月後の性能）

試料名	試 験 箇 所					
	ブルワークトップ		砲座周囲		スタンション	
	外 観	撥水性	外 観	撥水性	外 観	撥水性
A	良好	やや不良	良好	良好	良好	やや不良
B	良好	やや不良	良好	良好	良好	やや不良
C	良好	やや不良	良好	良好	良好	やや不良
D	良好	やや不良	良好	良好	良好	やや不良
E	良好	やや不良	良好	良好	良好	やや不良
既存品	クラック 数箇所	不良	良好	不良	良好	不良

調査日：H19、7、13（南稚内、北洋埠頭、北岸壁）

4, 2, 2 まとめ

- (1) ブルワークトップ面は鳥の糞の付着除去（水洗主体）による洗浄痕が多く観られ、表面が変質している可能性が大きい。撥水性はやや低下気味であった。
- (2) スタンションは補修塗装で日数の浅い塩化ゴム塗膜に直接塗装したため、塩化パラフィンが表面にブリードし、撥水性がやや低下した可能性もある。
- (3) 砲座周囲は着氷塗膜本来の撥水性を有し、既存塗膜とは明らかに差が認められた。

4, 3 巡視船「れぶん」での実地試験－3（再塗装試験）

定期検査で入渠した（07, 10, 稚内港湾施設株式会社）のを機に、その後の塗膜性能の調査、及び開発候補品を塗り重ねることにより、その性能と塗り重ね再塗装性を把握するための検討を実施した。

4, 3, 1 調査結果（13ヶ月後の性能）

	部 位	表 面 状 態
(1) ブルワークトップ面	A	水滴は丸くなり、撥水性あり
	B	同上
	C	同上
	D	同上
	E	同上
	既存塗膜	水によく濡れ、撥水性なし

	部 位	表 面 状 態
(2) 砲座周囲	A	水滴は滑落し、撥水性あり
	B	同上
	C	同上
	D	同上
	E	同上
	既存塗膜	水によく濡れ、撥水性なし

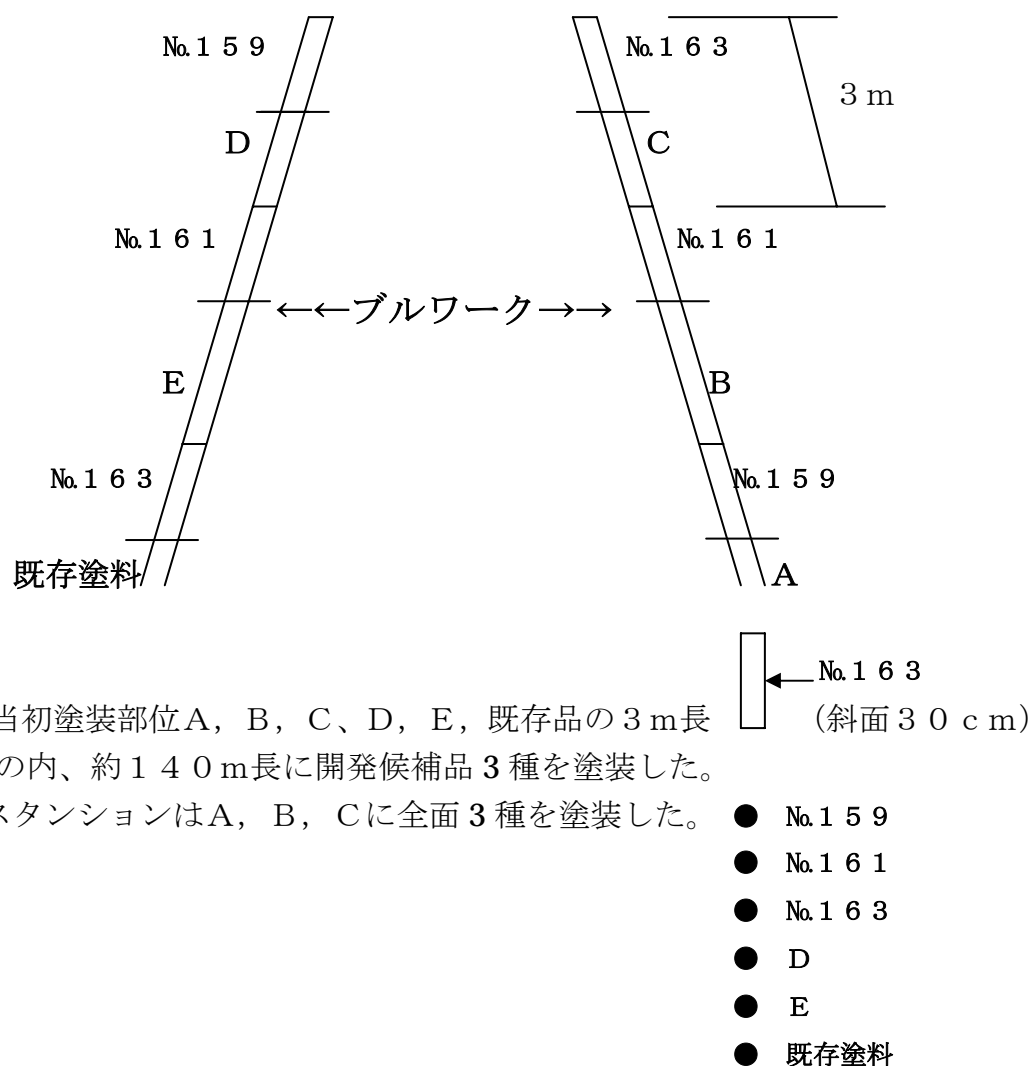
	部 位	表 面 状 態
(3) スタンション	A	水滴は滑落し、撥水性あり
	B	同上
	C	同上
	D	同上
	E	同上
	既存塗膜	水によく濡れ、撥水性なし

<備考> 調査日：H19, 10, 1、天候：晴れ、気温：18℃

4, 3, 2 開発候補品の性能とその塗り重ね再塗装性の検討

開発候補品3種 (No.159、No.161、No.163) の性能、及び塗り重ね再塗装性の確認を目的として塗装試験を実施した。

(1) 塗装区分



☆当初塗装部位A, B, C, D, E, 既存品の3m長の内、約140m長に開発候補品3種を塗装した。
 スタンションはA, B, Cに全面3種を塗装した。

(2) 塗装施工要領

① 表面処理

被塗面をウエスで入念に拭き、続いて濡れたウエスで汚染物質を除去し、最終的にウエスで軽く拭き、空乾させた。

② 塗装

予め5%希釈で調整した開発候補品を刷毛で塗装した。

③ 塗膜状態

1時間程度で見かけ上乾燥し、良好な面が得られた。

4, 4 実地試験供試試料のラボでの追跡試験

巡視船れぶん塗装した試料、及び関連試料についてラボでの追跡試験を実施した。

4, 4, 1 実船供試試料及び関連試料の着氷防止性試験

(1) 供試試料の種類

- ① れぶん塗装品—A
- ② " —B
- ③ " —C
- ④ " —E
- ⑤ No.105
- ⑥ No.107
- ⑦ No.56
- ⑧ No.56再
- ⑨ No.125
- ⑩ No.79 (油性)
- ⑪ No.80 (塩化ゴム)

(2) 実験結果

7/19~9/19 (暴露)

供試 試料No.	水浸漬30日、室内10ヶ月		追加暴露試験後の結果		評価
	撥水性	水滴転落角(°)	撥水性	水滴転落角(°)	
①	○	35	△	70	
②	○	35	△	45	☆
③	○	35	△	55	
④	○	35	△	55	
⑤	○	55	×—△	60	
⑥	○	35	△	55	
⑦	○	35	△	55	
⑧	○	35	△	55	
⑨	○	35	△	40	☆
⑩	×	68	×	50流れ	
⑪	×	65	×	55	▲

撥水性 ○：瞬時に弾く、 △：弾くが勢いが弱い、 ×：全く弾かない

4, 4, 2 まとめ

実船塗装に供した試料、A, B, C, D, E及びこれに類似した関連配合にてラボでの追跡試験を実施した結果、以下のことが判明した。

- (1) 室内で長期間放置したものは、実船供試品及び関連配合全て良好な撥水性を有しており、既存塗料との差が明確であった。
- (2) 上記に関連して、水滴転落角においても同様な傾向で、既存塗料との差が明確に現れている。
- (3) 35℃以上の酷暑下での暴露により、撥水性、水滴転落角の結果が低下するが、試験品—BおよびNo.125（共通配合）は実用性を維持していることが判明した。
- (4) 既存塗料の中でも、油性系は暴露により撥水性がほとんど消失し、水が塗膜表面を一面濡らす程の性状変化を示した。

4, 5 塩化ゴム／着氷防止塗装系の性能確認試験

4, 5, 1 目的

巡視船れぶんのブルワークトップやスタンションにおいて、前者はブラシで研磨された情報があり、後者は完全な直接塗装であったためか、撥水性の若干の低下が認められた。そこで、標準仕様との比較を行い、塩化ゴムによる何らかの影響の有無（例、短期間での塗り重ねによる可塑剤の表面への移行に主眼）を検討することとした。

4, 5, 2 塗装系（各塗装系で5回繰り返し）

塗装系No.	1層目	2層目	3層目
1	塩化ゴムA/C	塩化ゴムT/C	着氷防止塗料
2	〃	〃	〃
3	〃	〃	〃
4	〃	〃	〃
5	〃	〃	〃
6	変性エポキシ	ポリウレタン	着氷防止塗料
7	〃	〃	〃
8	〃	〃	〃
9	〃	〃	〃
10	〃	〃	〃

☆試験片No.は①～⑤（CR）、⑥～⑩（ME/PU）、8/2塗装完了

4, 5, 3 着氷付着性試験結果（初期）

	水滴転落角 (8/24)	着氷付着力 (8/22)		氷柱衝撃剥離 (8/22)	撥水性 (8/8)	判定
①	18	12	18	30	○	全て 良好
②	20	5	13	45	○	
③	20	11	12	60	○	
④	18	7	10	45	○	
⑤	20	6	8	45	○	
⑥	20	6	6	45	○	全て 良好
⑦	15	12	10	45	○	
⑧	17	6	5	45	○	
⑨	15	6	13	45	○	
⑩	20	5	11	60	○	

4, 5, 4 着氷付着性試験結果 (劣化後 - 1)

	水滴転落角	着氷付着力	氷柱衝撃剥離角	撥水性	判定
①	35	39	90	○	実用性あり
②	40	45	90	○	
③	40	43	60	○	
④	35	35	90	○	
⑤	40	29	90	○	
⑥	40	28	90	○	実用性あり
⑦	40	33	90	○	
⑧	35	28	90	○	
⑨	35	28	90	○	
⑩	35	37	90	○	

4, 5, 5 着氷付着性試験結果 (劣化後 - 2)

	水滴転落角	撥水性		判定	総合評価
		10度	水平		
①	50	○	△	OK	暴露による劣はあるが撥水性の大幅な低下は認められない。
②	45	○	△		
③	50	○	△		
④	55	○	△		
⑤	55	○	△		
⑥	50	○	△~○	OK	同上であるが、やや撥水性が良好と観察される。
⑦	50	○	△~○		
⑧	55	○	△~○		
⑨	55	○	△~○		
⑩	50	○	△~○		

★劣化条件 夏期暴露 (大阪) 50日

4, 5, 6 まとめ

実船での中間評価でやや撥水性の低下傾向が認められたため、ほぼ同一仕様（塩化ゴム系、塗装系No.①～⑤）でのラボでの評価は、実船とはかなり異なる結果を示した。つまり、

- (1) かなり過酷な夏場での暴露にもかかわらず、性能の低下傾向は実船で観察された状態とは異なり、着氷防止性能に関わる代表特性値の変化は実用性があると判断された。
- (2) 劣化を促進させるために暴露期間を延ばした結果、水滴滑落角は上昇したが、撥水性は維持された。特に10度傾斜では瞬時に撥水することが確認された。



実船試験と同様の塗装仕様をポリウレタン仕様と比較しながら検討したが塩化ゴムによる弊害はここでは認められず、再塗装試験も含めた追加試験を実施したので、現地からの情報が得られれば、より精度の高い品質が確認されるものと思われる。

4, 6 塗装直後の暴露による着氷防止性能試験

実地環境を想定し、塗装直後に暴露した場合の着氷防止性能に関する検討を行った。供試試料は絞り込んだ開発候補品3種を選定した。

4, 6, 1 実験計画

- (1) 供試塗料
- ①着氷防止塗料 No.159
 - ② " No.161
 - ③ " No.163
 - ④既存塗料 塩化ゴム系 (CR)
 - ⑤ アルキッド系 (OL)

- (2) 試験板
- A) 70×150×3.2mm t (ブラスト)
 - B) 100×200×3.2mm t (ブラスト)

上記試験板を各塗料に3枚、合計3×2×5=30枚準備し、共通下塗りとして、変性エポキシ (ME) をスプレーで表裏塗装した。

- (3) 試験項目との割り振り

	No.159	No.161	No.163	CR	OL
室内乾燥試験片					
撥水性	A(1)	同左	同左	同左	同左
水滴転落角	B(1)	同左	同左	同左	同左
暴露試験片					
撥水性	A(2)	同左	同左	同左	同左
水滴転落角	A(2)	同左	同左	同左	同左
着氷付着力	A(2)	同左	同左	同左	同左
水接触角	A(2)	同左	同左	同左	同左
氷柱衝撃剥離角	B(2)	同左	同左	同左	同左

注：() は繰り返し数 Aは各項目で共通で使用

暴露開始：07, 8, 9

ナンバリング：159, 161, 163、CR、OLの太字

4, 6, 2 実験結果

(1) 室内乾燥試験片の初期結果

	No.159	No.161	No.163	CR	OL
撥水性	A	A	A	B	C
水滴転落角(度)	15	15	15	40	60
着氷付着力 C法	20/23	16/23	23/26	48/50<	50</50<
着氷付着力 B法	45/22	30/46	46/50<	50</50<	50</50<
氷柱衝撃剥離角	30/45	30/60	30/45	90/120	120/120

(2) 暴露試験片の試験結果-1 (暴露40日、8/9~9/19)

	No.159	No.161	No.163	CR	OL
撥水性(1)	A	A	A	C	C
〃 (2)	A	A	A	C	C
着氷付着力(1)	25	24	40	50<	50<
〃 (2)	24	41	33	47c	50<
〃 (3)	24	32	22	—	—
〃 (4)	31	35	20	—	—
氷柱衝撃剥離角(1)	90	90c	90c	90c	90c
〃 (2)	120	90c	90c	120c	90c
〃 (3)	90	90	90	120	90
〃 (4)	90	120	90	120	90
水滴転落角(度)	35/40	40/40	40/45	40/40	50/50

(3) 暴露試験片の試験結果-2 (暴露70日、8/9~10/21)

	No.159	No.161	No.163	CR	OL
撥水性(水平)	B	B	B	C>	C>
〃 (10度傾斜)	A~B	A~B	A~B	C>	C>
着氷付着力 C法	29/29	36/24	32/24	36/50<	50</50<
〃 B法-(1)	22	46	50<	50<	50<
〃 -(2)	45	30	46	50<	50<
氷柱衝撃剥離角(1)	90	90	135c	120c	90c
〃 (2)	120	120c	120	120c	90c
〃 (3)	90	90	90c	90c	120c
〃 (4)	90	120	120c	90c	120c

4, 6, 3 まとめ

開発候補品は塗装完了後直ちに屋外に暴露しても、着氷防止機能に関わる性能の低下は既存塗料とは大きな差があり、その効果が明白であることが確認された。

(1) 酷暑の夏場の40日の暴露後の性能

- ①撥水性はAランクとCランクで明確である。
- ②氷柱衝撃剥離角はNo.159が凝集剥離が無く最良である。
- ③着氷付着力も開発候補品は既存塗料とは明確な差が認められる。

(2) 酷暑の夏場の70日の暴露後の性能

- ①撥水性はやや低下するものの、既存塗料との差は明白であり、傾斜を付与すればAランクに近づく。
- ②着氷付着力も既存塗料との差が大きく、B法においてはNo.159が良好である。
- ③氷柱衝撃剥離角においてもNo.159が凝集剥離の兆候も無く、簡単に除氷可能を示唆している。

結論として、塗装後直ちに暴露されても、その表面状態の変化は既存塗料とは大きく差があることが明確になった。

開発候補品で最も安定した性能を発揮するNo.159（シリコーンゴム微粒子、5 μ 、原材料No.9）については、別にセクションで更なる実用性の検討を実施する。

4, 7 漁船による実地試験

実地試験の重要な位置付けとして漁船での実地試験（実船塗装）を実施した。以下その概要と顕在化した課題を示す。

4, 7, 1 実施概要

相手先	概要
札幌機船漁業共同組合 →金井漁業（釧路）	H18年9月に提案書を提示し了承が得られたが、船体塗装が急遽中止になった(H19年1月)。
根室（2隻）	PTFE含有塗料を2種類塗装したが、着氷したが除氷性の情報がない内に再塗装された。
第65参光丸	開発品2種類を北洋海域を操業する29トン型漁船に塗装(H20年1月)されたが、結果は「着氷し、既存品との差が判別しにくかった」という評価であった。

4, 7, 2 まとめ

- 1) 第65参光丸において「既存塗料と同程度に着氷し、その除去性の比較が判別し難い」ということは重要な情報であり、今後試験方法（特に試験対象部位の選定条件）について更なる検討を継続する必要がある。
- 2) 更に船主の着氷防止に関する考え方が、着氷しないこと、即ち「非着氷性でないと問題解決にはならない」という点は本技術開発の目標より遥かに高く、抜本的ブレークスルーが提起されたと認識する必要がある。

5, 塗膜性能試験

塗料化試験で得られた結果に基づき、最適と思われる複数の配合を設計し、表面特性試験、着氷付着性試験、補修性試験に主眼をおいた検討を行う。

5, 1 表面特性、着氷付着性試験 (その1)

5, 1, 1 配合設計

(1) 微粒子の選定

塗料化試験結果より以下のものを選定した。

原材料No.	原材料の名称	平均粒子径(μm)
9	シリコーンゴム	5
1 1	P T F E	7
1 7	シリコーンゴム/レジン	12
2 1	シリコーンゴム	40
2 3	シリコーンレジン	0.8

(2) 配合

各微粒子を樹脂固形分当り40%および50%配合する。

<主剤>

No.→	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134
微粒子 (%)	40	←	←	←	←	50	←	←	←	←
樹脂	76.4	←	←	←	←	70.4	←	←	←	←
No. 9	13.2					15.2				
No. 1 1		13.2					15.2			
No. 1 7			13.2					15.2		
No. 2 1				13.2					15.2	
No. 2 3					13.2					15.2
溶 剤	10.4	←	←	←	←	14.4	←	←	←	←
計	100									

主剤/硬化剤	86.8/13.2	87.7/12.3
--------	-----------	-----------

5, 1, 2 試験項目

(1) 塗膜の強制劣化試験 (ブラスト板) -----日本塗料検査協会に委託。

試験試料：10種

比較対象用：4種 (PTFE, 樹脂, OL, CR,)

試験時間：400hr、1200hr

→試験板数：14×2=28枚

↓←試験終了後の試験計画

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">○表面観察○水滴滑落角測定○水接触角測定○着氷付着力/氷柱付着力試験○塗り重ね試験 (部分塗装) |
|--|

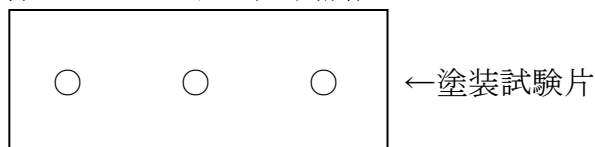
(2) 着氷付着力、着氷性 (初期/水浸漬後、ブラスト板、水浸漬3ヶ月)

試験試料：10種

比較対象用：2種 (PTFE, 樹脂)

→試験板数：12枚

◎繰り返し：3回 (3箇所)



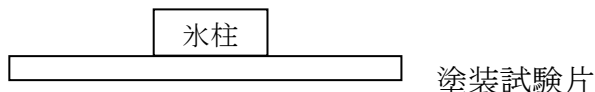
追試として着氷部分のハンマーリングも行う。

(3) 着氷除去性試験 (初期/水浸漬後、ブラスト板、水浸漬1ヶ月)

試験試料：10種

比較対象用：5種 (PTFE, 樹脂, ALK, CR, V))

→試験板数：15枚



100mlポリカップで50mmhの氷柱を作製し、50g重の分銅を振り子式で破壊する。

(3) 水浸漬劣化後の水滴転落角 (上記3の試験片を使用)

(4) 長期暴露後の撥水性試験

5, 1, 3 実験結果

(1) 着氷付着力、着氷性 (初期)

試料No.	着氷付着力 (C法)			着氷性★ (ハンマーリング)	備 考
	1	2	3		
1 2 5	16	8	21	○ (○)	
1 2 6	19	26	33	△ (○~△)	
1 2 7	20	23	33	△ (○)	
1 2 8	13	20	14	○ (○~△)	
1 2 9	17	23	18	○ (○~△)	
1 3 0	15	17	19	△	No. 1 2 4 (△)
1 3 1	36	24	34	△	No. 8 0 (×)
1 3 2	26	20	18	△	No. 7 9 (×)
1 3 3	16	15	18	△	
1 3 4	8	15	20	○	
P T F E	28	30	29	△	
8 1	11	22	23	×	

★着氷性：-15℃に冷却した試験片を冷却水に2回接触させた着氷状態
() は100mlポリカップで氷柱50mmhを作製し試験

(2) 着氷除去性 (初期)

試料No.	剥離角度	氷/素地界面の破壊状態
1 2 5	45	氷/塗膜の層間剥離
1 2 6	90	〃
1 2 7	45	〃
1 2 8	45	〃
1 2 9	90	〃
1 3 0	30	〃
1 3 1	90	〃
1 3 2	45	〃
1 3 3	30	〃
1 3 4	90	〃
P T F E	45	〃
8 1	90	氷の凝集破壊 (氷の残存10%)
7 9	60	〃 (氷の残存90%)
8 0	45	〃 (氷の残存40%)
1 2 4	90	〃 (氷の残存20%)

振り子の構造：長さ36cm、重量50g $F = -m g \sin \theta$

(3) 3シーズンを想定した強制劣化試験（キセノン照射）後の性能試験

①水滴転落角／着氷付着力／氷柱衝撃剥離角

試料No.	400hr			1200hr			着氷付着力(初期) N/2cm ²
	水滴転落角(°)	着氷付着力 N/2cm ²	氷柱剥離角 (°)	水滴転落角 (°)	着氷付着力 N/2cm ²	氷柱剥離角 (°)	
125	43	32	120<層	58	32	120<層	24
126	45	33	120<層	55	41	120<凝	28
127	41	38	120<層	55	39	120<層	26
128	42	37	120<層	60	44	120<層	31
129	45	43	120<層	55	47	120<凝	33
130	40	38	120<層	62	38	90氷凝	30
131	43	49	120<層	60	43	120<凝	31
132	37	45	120層	55	48	120<層	28
133	45	36	90層	62	50<	120<層	20
134	45	46	90氷凝	60	46	120<凝	28
PTFE	35	41	90氷凝	50	43	120<	—
79	65	50<	90氷凝	非水滴	50<	120<凝	—
80	70	50<	120<凝	非水滴	50<	120<凝	—
81	40	50<	120<層	50	50<	120<	—

②撥水性

試料No.	撥水性			総合評価
	初期	400hr	1200hr	
125	◎	◎	◎	☆
126	◎	◎	○	
127	◎	◎	◎	☆
128	◎	◎	◎	☆
129	◎	◎	○	
130	◎	◎	◎	☆
131	◎	◎	◎	☆
132	◎	◎	○	
133	◎	◎	◎	☆
134	◎	◎	○	
PTFE	◎	◎	◎	☆
81	◎	◎	○	

③水接触角

キセノンアーク照射による促進劣化試験片に、更に水浸漬劣化試験片を加えて、且つ有望な微粒子材料であるシリコーンゴムに的を絞り劣化後の測定を行った。

試験片No.	試料No.	劣化条件	接触角(°)	総合評価
Wc 1	1 2 5	X 4 0 0 h r	1 0 2	☆
Wc 2		X 1 2 0 0 h r	1 0 3	☆
Wc 3		W 1 ヶ月	1 1 1	☆☆
Wc 4	↓	W 3 ヶ月	1 0 5	☆
Wc 5	1 2 8	X 4 0 0 h r	9 7	★
Wc 6		X 1 2 0 0 h r	1 0 1	☆
Wc 7		W 1 ヶ月	1 0 2	☆
Wc 8	↓	W 3 ヶ月	1 0 7	☆
Wc 9	1 3 0	X 4 0 0 h r	1 0 4	☆
Wc 10		X 1 2 0 0 h r	1 0 5	☆
Wc 11		W 1 ヶ月	1 0 9	☆
Wc 12	↓	W 3 ヶ月	1 0 8	☆
Wc 13	1 3 3	X 4 0 0 h r	1 0 5	☆
Wc 14		X 1 2 0 0 h r	1 0 0	☆
Wc 15		W 1 ヶ月	1 0 5	☆
Wc 16	↓	W 3 ヶ月	1 0 6	☆
Wc 17	8 1	X 4 0 0 h r	9 3	★
Wc 18		X 1 2 0 0 h r	9 1	★
Wc 19		W 1 ヶ月	9 9	★
Wc 20	↓	W 3 ヶ月	8 5	★
Wc 21	P T F E	X 4 0 0 h r	1 1 0	☆☆
Wc 22		X 1 2 0 0 h r	1 0 1	☆
Wc 23		W 1 ヶ月	1 0 3	☆
Wc 24	↓	W 3 ヶ月	1 0 3	☆

Wc : Water contact angle

X : Xenon arc shinning

W : Water immersing

(4) 着氷付着力、撥水性——水浸漬3ヶ月劣化後 (対初期値↓)

試料No.	着氷付着力(N/2cm ²)		撥水性 (水道水接触)	総合評価	着氷付着力 水浸漬1ヶ月
	1	2			
125	28	33	◎	☆	26
126	44 凝集	50<凝集	△		36
127	50<凝集	50<凝集	○		43
128	25		◎	☆	35
129	48 凝集	50<凝集	△		43
130	27	26	◎	☆	39
131	37 凝集	50<凝集	△		50
132	44	50<凝集	○		54
133	27	26	◎	☆	23
134	50<凝集	50<凝集	×		40
PTFE	50<	48	◎	☆	X
81	50<凝集	50<凝集	△		

(5) 着氷除去性 (氷柱衝撃剥離) ——水浸漬1ヶ月劣化後

試料No.	氷柱衝撃剥離角度 (度)		撥水性 (水道水接触)	総合評価
	1	2		
125	30	60	◎	☆
126	60	60 氷破壊	◎	
127	45	90	◎	
128	60	90	◎	☆
129	failed	120<	◎	
130	45	60	◎	☆
131	90 氷破壊	氷破壊	◎	
132	90	120	◎	
133	90	90	◎	☆
134	90	120	◎	
PTFE	45	failed	◎	☆
79	failed	120<	△	
80	90 氷破壊	120<	△	
81	90	120<	◎	
124	60	120<	○	

(荷重) (56.3g) (56.3g)

(6) 浸漬劣化後の水滴滑落角度

試料No.	水滴滑落角 (度)	判定
1 2 5	3 0	◎
1 2 6	6 0	
1 2 7	6 4	
1 2 8	6 0	
1 2 9	4 5	
1 3 0	3 5	◎
1 3 1	6 0	
1 3 2	5 2	
1 3 3	3 5	◎
1 3 4	6 5	
7 9	6 0	
8 0	6 0	
8 1	4 0	
P T F E	3 5	◎

(7) 長期暴露後の撥水性

No.	6 ヶ月	1 2 ヶ月	水滴滑落角
1 2 5	A	B	1 2 ヶ月後 測定、 5 0 ~ 5 5 (度)
1 2 6	C	B	
1 2 7	A	B	
1 2 8	A	B	
1 2 9	C	B	
1 3 0	A	B	
1 3 1	B	B	
1 3 2	A	B	
1 3 3	A	B	
1 3 4	C	B	

5, 1, 4 まとめ

(1) キセノンアーク強制劣化（3年相当）後の耐用性の検証

①着氷付着力試験

シリコーンゴム（原材料No.9）の配合は初期値で1.2 kg/cm²、強制劣化後は1.6 kg/cm²で、開発目標値の1.0 kg/cm²には及ばないが、PTFEの2.1 kg/cm²より高レベルの結果が得られた。

一方水浸漬の場合、1ヶ月で1.3 kg/cm²、3ヶ月1.5 kg/cm²とほぼ同等のレベルであった。

②水滴転落角

目標に達せず50度台、PTFEも同様である。一方既存塗膜（油性、塩化ゴム）は水滴にならず親水性が付与された。

③水接触角

厳選して試験に供したシリコーン系配合は、PTFEと同様3年相当の表面も100度を維持することが判明した。微粒子を配合しない基材樹脂は、100度以下で微粒子効果を確認できた。

一方水浸漬2ヶ月、3ヶ月でも100度をクリアすることが判明した。

④撥水性

水道水で塗膜を濡らした場合、シリコーンゴム系は瞬時に水を弾くことを確認した。

⑤キセノンアーク強制劣化と水浸漬試験との相関性

多少のバラツキは存在するが、キセノンアーク1000hrと水浸漬1～3ヶ月では、キーポイントとなる水接触角とほぼ平行であり、今後の促進劣化の一助となり得ることが推測できた。

(2) 微粒子組成と性能の関係

①シリコーンゴム系配合は初期値は元より劣化後の着氷付着力が低い。

②水浸漬1～3ヶ月後もシリコーンゴム系配合は高い撥水性を維持する。

③氷柱衝撃剥離角は測定方法が定まらないが、シリコーンゴム系配合は小さい角度で剥離し、易着氷除去性に期待が持てる。

④PTFE配合品は総じて着氷防止に関わる代表特性に期待が持てないことが立証された。

⑤微粒子濃度は傾向として40%の方が高性能を示した。

5, 2 表面特性、着氷付着性試験 (その2)

5, 2, 1 配合設計

(1) 微粒子の選定

シリコーン系の更なる原材料として弾性体2種および異粒子径の併用効果について検討、PTFE微粒子は期待値以下であり、ここでは除外した。

原材料No.	原材料の名称	平均粒子径(μm)
9	シリコーンゴム	5
17	シリコーンゴム/レジン	12
19	シリコーンゴム	13
21	シリコーンゴム	40
23	シリコーンレジン	0.8
9/21	シリコーンゴム併用系	5/40
19/21	〃	13/40
25	シリコーンゴム弾性体	2
26	同上	2

(2) 配合

各微粒子を樹脂固形分当り40%および50%配合する。

<主剤> No.135~143 (微粒子濃度: 40%)

	135	136	137	138	139	140	141	142	143
樹脂	76.4	←	←	←	←	←	←	←	←
No.9	13.2					6.6			
No.17		13.2							
No.19			13.2				6.6		
No.21				13.2		6.6	6.6		
No.23					13.2				
No.25								13.2	
No.26									13.2
溶剤	10.4	←	←	←	←	←	←	←	←
計	100.0								

主 剤/硬化剤=86.8/13.2

<主剤> No.144～152 (微粒子濃度：50%)

	144	145	146	147	148	149	150	151	152
樹脂	70.4	←	←	←	←	←	←	←	←
No.9	15.2					7.6			
No.17		15.2							
No.19			15.2				7.6		
No.21				15.2		7.6	7.6		
No.23					15.2				
No.25								15.2	
No.26									15.2
溶剤	14.4	←	←	←	←	←	←	←	←
計	100								

主剤/硬化剤=87.7/12.3

(3) 比較標準品

①No.81 (標準樹脂)

②No.79

③No.80

④No.124

着氷除去性 (氷柱試験)

5, 2, 2 試験項目

- (1) 着氷性 (0.8mm t 化成処理板、初期および水浸漬後) TP19枚
下塗り「エピコマリンプライマー」を、上塗りとしてポリウレタンを塗装した。比較標準品はNo.81
- (2) 着氷付着力 (ブラスト処理標準試験板、初期および水浸漬後) TP19枚
ポリウレタン塗装標準試験板を使用。3箇所測定する。比較標準品はNo.81
- (3) 着氷除去性 (ブラスト処理 100×200mm試験板) 一刷毛塗り TP24枚
比較標準品はNo.81, 79, 80, 124, PTFEの5種
- (4) 水滴転落角 (0.8mm t 化成処理板、初期および水浸漬後) TP19枚
上記(1)を兼用する。
比較標準品はNo.81
- (5) 屋外暴露試験 (100×200×3.2mm t ブラスト)
本試料18、比較品4、計22枚 (上記—3のPTFEを除く)

5, 2, 3 実験結果

(1) 水滴滑落角度 (0.8 mm t 処理板)

試料No.	初期値	劣化後	総合評価
135	14	25	☆
136	14	45	
137	20	35	
138	15	30	☆
139	15	47	
140	13	35	
141	18	38	
142	14	32	☆
143	15	40	
144	15	30	☆
145	15	35	
146	14	30	☆
147	17	35	
148	15	55	
149	15	32	☆
150	16	30	☆
151	15	35	
152	15	40	
81	17	35	

(2) 着氷性 (過冷却法)

試料No.	初期値		劣化後	総合評価
	1	2		
135	A-B	B	C	
136	C	C	C	
137	C	C	C	
138	A	B	B	☆
139	A	B	C	
140	C	B	C	
141	B	B	C	
142	B	B	A	☆
143	A	C	C	

144	C	B	C	
145	A-B	C	C	
146	A-B	A-B	B	☆
147	C	B	C	
148	B	B	C	
149	C	B	C	
150	C	C	B	☆
151	C	C	C	
152	B	C	C	
81	B	B	-	

(3) 着氷付着力 (ブラスト板、プッシュプル法、N/2 cm²)

試料No.	初期値		劣化後		総合評価
	1	2	1	2	
135	32	27	25	26	☆
136	49	25	38	38	
137	34	20	28	24	☆
138	40	15	22	24	☆
139	50<	50<	47	50<	
140	16	20	27	23	☆
141	18	22	27	24	☆
142	44	43	32	50<	
143	40	39	45	36	
144	29	17	22	24	☆
145	49	38	42	41	
146	31	21	25	23	☆
147	27	19	20	23	☆
148	29	32	33	50<	
149	38	16	23	18	☆
150	33	22	41	28	
151	50<	30	50	39	
152	39	38	30	37	
81	26	28	37	30	

4/9~5/9水浸漬

5/22二次試験

(4) 着氷除去性、撥水性、水滴転落角 (200×100×3.2mm t)

試料No.	着氷除去性 (氷柱衝撃剥離角)				水滴滑落角		撥水性		総合評価
	初期値(°)		劣化後(°)		劣化後		劣化後		
	1	2	1	2	A	B	A	B	
135	90	45	45	45	20	50	○	△	☆
136	120<	120<	60	60	28	45			
137	120<	90	60	45	20	45			☆
138	120<	120	45	45	18	45			☆
139	120<	120<	90	90	43	50			
140	120<	120	60	45	16	50			☆
141	120<	120	60	30	18	50			☆
142	120<	120<	90	60	30	50			
143	120<	120<	45	60	30	42			☆
144	120	90	45	30	18	50			☆
145	120<	120<	90	90	30	50			
146	120<	120<	60	45	23	55			☆
147	120<	120<	45	45	25	50			☆
148	120<	120<	90	60	35	50			
149	120<	120<	45	45	28	50			☆
150	120	90	60	45	25	50			☆
151	120	120	60	60	25	50			
152	120	120<	90	60	42	50	▼	▼	
79	120<	120<	120<	120<	60	60	×	×	
80	120	120<	90	120	80	60	×	×	
81	120<	120<	120<	60	40	50	○	△	
124	120<	120<	120	90	65	60	△	△	
PTFE	120<	120<	—	—					
荷重→ 56.3g 93.8g			荷重球とシャフトを一体化、56.3g			A: 水浸漬1ヵ月 B: 追加暴露7ヵ月			

5, 2, 4 まとめ

(1) 一連のシリコーンゴム系について再度検討結果、

- ①シリコーンゴム微粒子としてのNo. 9、No. 19、No. 21の性能はNo. 9が開発目標値に最も近い結果を示した。
- ②微粒子併用系としては、No. 9 / No. 21系が良好な結果を示した。
- ③シリコーンゴム複合系は期待した結果が得られなかった。
- ④シリコーンゴムエラストマーも期待したほどの結果が得られなかった。等を確認した。

(2) 個々の開発目標に関する事項、

- ①着氷付着力はNo. 9が水浸漬による劣化後も $1.2 \sim 1.3 \text{ kg} / \text{cm}^2$ で安定している。
- ②水滴滑落角はNo. 9、No. 19、No. 21が開発目標値の20度を達成した。
- ③水接触角は今後の更なる検討の中でデータ取得を行う。
- ④撥水性は既存塗料に比較して明らかな差があり、着氷防止配合の効果が明白である。等を確認した。

さらに、新たに導入した氷柱衝撃剥離角は測定方法の標準化への過程にあり、今後の評価方法の重要な要素となるが、シリコーンゴム系は、30～45度と低く更なる検討により最適組成を見出すこととする。

5, 3 補修塗装性（塗り重ね再塗装性）試験

本技術開発目標の一つとして、塗り重ね再塗装性があり、同種塗装系、既存塗膜への塗り重ね性に関する諸要素を取り上げて、補修塗装性に関わる総括的な検討を実施した。

5, 3, 1 既存船舶塗料への塗り重ね性—1（室内環境）

付着性試験結果

試験片No.	塗装間隔 (日)	既存塗料（下塗）の種類		
		CR	OL	VNL
RC-1	10	○	○	×
RC-2	30	○	○	×
RC-3	50	○	○	×
RC-4	70	○	○	×
RC-5	140	○	○	×
RC-6	190	○	○	×
RC-7	240	○	○	△
RC-8	270	○	○	△
RC-9	310	○	○	△
RC-10	370	○	○	△

<Note> 1) CR：塩化ゴム OL：フタル酸 VNL：ビニル
2) 塗り重ね塗料：No.125配合

5, 3, 2 既存船舶塗料への塗り重ね性—2 (暴露環境)

(1) 実験結果

付着性試験結果

試験片No.	塗装間隔 (日)	既存塗料の種類		
		CR	OL	VNL
RC(E)-1 (4/23)	60	×	○	×× 剥離拡大
RC(E)-2 (6/19)	120	△	○	×× 剥離拡大
RC(E)-3 (7/19)	150	○	○	×
RC(E)-4 (8/9)	170	○	○	×
RC(E)-5 (9/10)	200	○	○	△
RC(E)-6 (10/22)	240	○	○	△
RC(E)-7 (12/22)	300	○	○	△
RC(E)-8 H20年		屋外暴露を継続中		
RC(E)-9		屋外暴露を実施中		
RC(E)-10		屋外暴露を実施中		

<Note> 1) CR: 塩化ゴム OL: フタル酸 VNL: ビニル

2) 塗り重ね塗料: No.125配合

3) RC(E): Recoat (Exposure)

5, 3, 3 着氷防止塗料同種の塗り重ね性試験 (屋外暴露下)

付着性試験結果

配合No.	塗装間隔 (ヶ月)	付着性評価			備考
1 2 5	6	×			暴露開始：06. 11 6ヶ月：07. 5 12ヶ月：07. 11 試験板の形状： 70×200×0.8mmt
	1 2	×	△	5 5	
1 2 6	6	×			
	1 2	×	△	5 0	
1 2 7	6	×			
	1 2	×	△	5 5	
1 2 8	6	×			
	1 2	×	△	5 0	
1 2 9	6	×			
	1 2	×	△	5 0	
1 3 0	6	×			
	1 2	×	△	5 0	
1 3 1	6	×			
	1 2	×	△	5 0	
1 3 2	6	×			
	1 2	×	△	5 0	
1 3 3	6	×			
	1 2	×	△	5 0	
1 3 4	6	×			
	1 2	×	△	5 0	

☆付着性は全て PU/着氷塗料間の層間剥離

1 2 カ月の評価：付着性、撥水性、水転落角の順で示した。



着氷防止塗料同士の塗り重ね性は不良である。今後システム開発が必要である。

5, 3, 4 強制劣化後の同種及び既存船舶塗料の塗り重ね性試験

(1) 実験結果

付着性試験結果 (60° クロスカットセロテープ剥離試験)

着氷防止塗料	劣化期間	塗り重ね用塗料の種類			
		着氷防止塗料	CR	OL	VNL
125	1年相当	××	××	×	××
126		××	××	××	××
127		××	××	×	××
128		××	××	××	××
129		××	××	××	××
130		××	××	××	××
131		××	××	××	××
132		××	××	××	××
133		××	××	××	××
134		××	×	××	××
125	3年相当	××	○	△	××
126		×	○	×	××
127		×	×	××	××
128		×	×	×	××
129		×	△	×	××
130		×	×	××	××
131		×	○	×	××
132		×	△~○	×	××
133		×	×	×	××
134		×	○	×	××

→ No. 125 を代表試料として塗装。

○
着氷防止塗料
CR
OL
VNL

塗装 : 07, 4, 23

暴露 : 07, 4, 24

試験 : 07, 6, 14

→ 70×150×3.2mm t

(2) まとめ

キセノンアーク照射による促進劣化試験は必ずしも実環境と一致してはいないが国際標準であり採用した。本検討で得られた情報を要約すると以下のようになる。

- ① 1年相当より3年相当の方が塗り重ね性が向上する。これは表面の劣化のため多少の投錨（アンカー）効果が出たものと思われる。
- ② 着氷防止塗料同士では塗り重ね性は不良であった。
- ③ 他の既存塗料として、塩化ビニル系塗料は全く付着しない（凝集力が強く付着しない）。
- ④ 油性系塗料も塩化ビニルほどではないが付着性に欠ける。
- ⑤ 塩化ゴム系塗料で付着性に優れた塗装系が多く見出せた。



着氷防止塗膜は撥油性も有しており、同種塗り重ねの場合は表面処理を含めたシステム開発が急務であり、単なる補修は塩化ゴム系塗料が適用できそうである。

5, 3, 5 着氷防止塗料相互の塗り重ね性（表面処理方法－1）

代表的着氷防止塗料試作品3種により劣化後の表面処理と塗り重ね付着性に関する検討を行った。

(1) 供試塗料配合

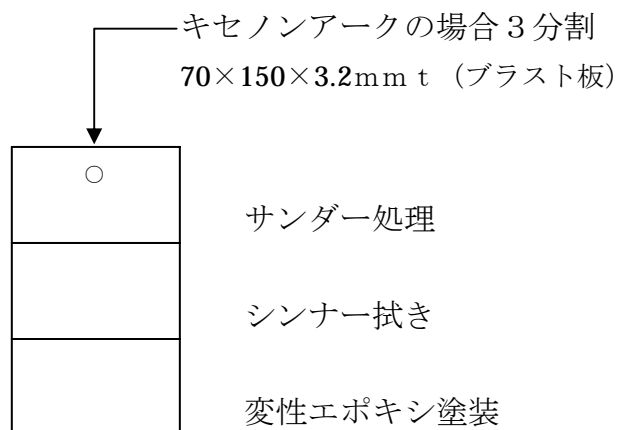
- ①微粒子原材料 No.9 (試料No.159)
- ② " No.19 (試料No.162)
- ③ " No.21 (試料No.164)

(2) 表面劣化方法

- ①キセノンアーク照射、1200hr
- ②水浸漬：3ヶ月（常温）
- ③屋外暴露：3ヶ月（7/18～10/22）

(3) 表面処理方法

- ①サンダー処理
- ②シンナー拭き
- ③変性エポキシ塗装



(4) 試験片の構成

供試塗料配合	表面劣化方法	表面処理方法		
		サンダー	シンナー	変性エポキシ
No.159	キセノン	159		
	水浸漬	159-W1	159-W2	159-W3
	屋外暴露	159-E1	159-E2	159-E3
No.162	キセノン	162		
	水浸漬	162-W1	162-W2	162-W3
	屋外暴露	162-E1	162-E2	162-E3
No.164	キセノン	164		
	水浸漬	164-W1	164-W2	164-W3
	屋外暴露	164-E1	164-E2	164-E3

(5) 実験結果

塗り重ね付着性試験結果

	表面劣化方法	試験法		表面処理方法		
				サンダー	シンナー	ME 塗装
No.159	キセノン	ごぼん目	×	×	○	
			×	×	○	
	水浸漬		×	×	△	
			×	×	△	
No.162	キセノン		×	×	○	
			×	×	○	
	水浸漬		×	×	×	
			×	×	×	
No.164	キセノン		×	×	○	
			×	×	○	
	水浸漬		×	×	×	
			×	×	×	
No.164	屋外暴露	↓	×	×	○	
			×	×	○	

(6) まとめ

基材樹脂の基本的性質の表面特性である撥油性、低表面エネルギーの影響で、3カ月の劣化（浸漬、暴露）、3年相当のキセノン照射での塗り重ねは剥がれ現象はないが、つめ引っかけ性にやや難がある。しかし、変性エポキシ（ME）のシーラー効果が確認されたことは実用性の面で大きな成果であると判断される。

5, 3, 6 着氷防止塗料相互の塗り重ね性（表面処理方法－2）

試作配合No.125を塗装した試験片に、表面処理を変えて同種塗料を塗り重ね付着性を試験する。

（1）試験結果

No.	着氷防止塗膜の表面状態	塗装 間隔 (日)	着氷防止樹脂塗料との付着性				
			無処理	シンナー拭き			ペーパー 研磨
			洗剤	X	EP	PU	
①	屋外暴露 (6/14 暴露)	45	○	○	○	○	○
			○				
②	〃	86	○	○	○	○	○
			○				
③	〃 (6/20 暴露)	120	○	○	○	○	○
			○				
④	〃	170	○	○	○	○	○
			○				

試験片の表面処理区分

無処理	シンナー拭き			ペーパー 研磨
	X	EP	PU	
洗剤 処理				

100×200×3.2mm t
(ブラスト板)

（2）まとめ

屋外暴露約半年では着氷防止塗料相互の付着性は良好であった。これまでの試験とは異なり全てのシステムで良好であり、表面のバラツキが考えられる。

5, 3, 7 着氷防止塗料相互の塗り重ね性（表面処理方法－3）

試作配合No.1 2 5を塗装した試験片に表面処理を変えてシーラーコートとして変性エポキシ塗料を塗り、付着性を試験する。

(1) 実験結果

No.	着氷防止塗膜の表面状態	塗装 間隔 (日)	変性エポキシとの付着性				ペーパー 研磨
			無処理	シンナー拭き			
			洗剤	X	EP	PU	
⑤	屋外暴露 (6/20 暴露)	80	○	○	○	○	○
			○				
⑥	〃	120	○	○	○	○	○
			○				
⑦	〃	170	○	○	○	○	○
			○				

試験片の表面処理区分

無処理	シンナー拭き			ペーパー 研磨
	X	EP	PU	
洗剤 処理				

100×200×3.2mm t
(ブラスト板)

(2) まとめ

屋外暴露と同様良好であり、変性エポキシのシーラー効果も有効であることが十分推測可能である。

5, 3, 8 着氷防止塗料相互の塗り重ね性（表面処理方法－4）

過去に試作した着氷防止サンプル（No.108～No.123）の10ヶ月暴露塗装片に、No.125を表面処理方法を変えて塗り重ね再塗装性を検討した。

（1）暴露試験片（No.108～No.123）の表面処理方法

無処理 ○	ペーパー #180	洗剤拭き	キシレン拭き
----------	--------------	------	--------

70×200×0.8mm t

上記処理状態で試料No.125を150μアプリケーションで塗装した。

（2）付着性試験結果

下塗りNo.	無処理	ペーパー	洗剤拭き	キシレン
108	○	○	○	○
109	↓	↓	↓	↓
110	↓	↓	↓	↓
111	↓	↓	↓	↓
112	↓	↓	↓	↓
113	↓	↓	↓	↓
114	↓	↓	↓	↓
115	↓	↓	↓	↓
116	↓	↓	↓	↓
117	↓	↓	↓	↓
118	↓	↓	↓	↓
119	↓	↓	↓	↓
120	↓	↓	↓	↓
121	↓	↓	↓	↓
122	↓	↓	↓	↓
123	↓	↓	↓	↓

（3）まとめ

基材樹脂が共通のNo.125は10ヶ月塗装間隔で全ての同系着氷塗料と良好な付着性を示した。

5, 3, 9 各種素材に対する塗り重ね適合性試験

各種用途開発を目的として、想定される素材を厳選して塗り重ね試験を行いその適合性を評価した。

(1) 実験結果

素材の種類	一次付着性	二次付着性 (暴露：1ヵ月)	判定
サイジング材	○	○	☆
冷間圧延鋼材	○	○	☆
SUS	○	○	☆
アルミ	○	○	☆
亜鉛めっき-1 (長期保存板)	○	○	☆
亜鉛めっき-2	○	○	☆
クロムめっき	○	○	☆
銅版	○	○	☆
硬質塩ビ	○	○	☆
ABS	×	×	
PE	×	×	
PP	×	×	

(2) まとめ

金属系は概ね付着性は良好と判断される。一方、プラスチック系は塩ビ以外は付着しにくいことが判明した。

5, 4 微粒子配合率の限界値の検討

シリコンゴムについてその配合率の限界値を主として塗料性状、塗膜状態の点より粒子径を変えて検討した。

5, 4, 1 因子と水準

A, 樹脂（基材樹脂＋硬化剤）100部当りの微粒子の部数（固形分比率）

A 1	20
A 2	40
A 3	60
A 4	80
A 5	100
A 6	120
A 7	140
A 8	160
A 9	180
A 10	200

B, 微粒子

B 1	原材料 No.9
B 2	原材料 No.19
B 3	原材料 No.21
B 4	原材料 No.25
B 5	原材料 No.26

5, 4, 2 配合

樹脂（基材樹脂／硬化剤＝5／1，37%）100部に対する微粒子（B1～B5）の配合量を以下に示す。

微粒子（B1～B5）の配合部数

	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	A 8	A 9	A 10
B 1～B 5	7.4	14.8	22.2	29.6	37.0	44.4	51.8	59.2	66.6	74.0

5, 4, 3 試験項目

- (1) 塗膜性状（堅脆さ、他）
- (2) 着氷性（過冷却水を－15℃の表面に接触させた時の評価）
- (3) 水滴転落角測定

5, 4, 4 実験結果

A	試験項目	B				
		B 1	B 2	B 3	B 4	B 5
A 1	①塗膜性状	○	○	○	○	○
	②着氷性	C-	C-	C	C-	C
	③水滴転落	2 0	1 3	1 5	1 5	1 6
A 2	①塗膜性状	○	○	○	○	○
	②着氷性	C	A	C	C-	C-
	③水滴転落	1 5	1 3	1 8	1 5	1 5
A 3	①塗膜性状	○	○	○	○	○
	②着氷性	C-	A	A	C-	C-
	③水滴転落	2 0	1 5	1 8	1 8	1 8
A 4	①塗膜性状	○	○	○	○	脆い
	②着氷性	B	B	C	C-	C-
	③水滴転落	2 0	1 5	1 8	2 0	3 2
A 5	①塗膜性状	脆い	脆い	脆い	脆い	脆い
	②着氷性	C	C	B	C	B
	③水滴転落	2 0	2 0	3 3	3 0	3 5
A 6	①塗膜性状	脆い	脆い	脆い	脆い	脆い
	②着氷性	C-	A	C-	C-	B
	③水滴転落	2 0	1 8	3 0	3 5	3 0
A 7	①塗膜性状	脆い	脆い	脆い	脆い	脆い
	②着氷性	C-	B	C	B	C
	③水滴転落	2 0	2 5	3 3	4 0	2 5
A 8	①塗膜性状	脆い	脆い	脆い	脆い	脆い
	②着氷性	B	C-	C-	B	B
	③水滴転落	2 0	2 8	3 0	2 5	2 0
A 9	①塗膜性状	脆い	脆い	脆い	脆い	脆い
	②着氷性	B	C-	B	C	B
	③水滴転落	2 0	2 8	3 0	2 5	1 5
A 1 0	①塗膜性状	脆い	脆い	脆い	脆い	脆い
	②着氷性	C	C-	A	C	A
	③水滴転落	2 0	2 5	3 0	2 5	3 5

5, 4, 5 まとめ

(1) 塗膜性状

樹脂固形分に対して80%までは塗膜性状（外観、脆さ）は良好で、一定の造膜性を示した。ただしNo.26では脆いことが判明した。

(2) 着氷性

No.9は、多少のバラツキがあるものの、80～160%が良好、No.19は、40～140%で良好、No.21は、濃度の如何によらず良好、これは粒径が40 μ φに起因していることが関係している可能性がある。

No.25, 26は140%以上で良好なものが散見され、実用性に欠如することが判明した。

(3) 水滴滑落角度

20度を合格ラインとした場合、（良好←）No.9 > No.19 > No.21 > No.25
≒No.26の順である。

No.9は全般に20度以下、No.19は120%まで、No.21は100%まで良好である。

No.26は80%まで、No.26は60%まで良好、ただしNo.26は160、180%でも良好であった。



総合評価として、No.9、No.19、No.21は80%まで実用性領域であると判断される。

5, 5 表面温度／板厚／着氷性の関係－1

H18年度の検討結果より、板厚が着氷性にかかなり関係することが判明した。
ここでその再確認を表面温度との関係より検討した。

5, 5, 1 実験因子と水準

A、表面温度（設置環境温度で5時間以上冷却）

A1、 -15°C

A2、 -5°C

B、板厚 B1、0.8mm（ボンデ処理）

B2、1.6mm（ 〃 ）

B3、2.3mm（ 〃 ）

B4、3.2mm（ブラスト板）

C、塗料 C1、No.159（微粒子No.9）

C2、No.162（微粒子No.19）

C3、No.164（微粒子No.21）

5, 5, 2 試験方法

塗装試験片を -15°C と -5°C に5時間以上設置し、過冷却状態の青色染料水溶液に2秒程度接触させて瞬時に着氷状態を調査した。

5, 5, 3 組み合わせ表（試験片No.1～24）

No.	A	B	C	No.	A	B	C
1	1	1	1	13	2	1	1
2	1	1	2	14	2	1	2
3	1	1	3	15	2	1	3
4	1	2	1	16	2	2	1
5	1	2	2	17	2	2	2
6	1	2	3	18	2	2	3
7	1	3	1	19	2	3	1
8	1	3	2	20	2	3	2
9	1	3	3	21	2	3	3
10	1	4	1	22	2	4	1
11	1	4	2	23	2	4	2
12	1	4	3	24	2	4	3

5, 5, 4 実験結果

着氷性試験結果

No.	初 期	水浸漬	No.	初 期	水浸漬
1	B	B	13	A	C
2	B	A	14	A	A
3	B	A	15	A	A-B
4	C	B	16	A	B
5	C	C	17	A	A-B
6	C-	B	18	A	A
7	C	B	19	A	A
8	C	C	20	A-	A-B
9	C	B-C	21	A	B
10	C	C	22	A-	C
11	C	C	23	A	C
12	C	C	24	A	C

水浸漬：1ヵ月

5, 5, 5 まとめ

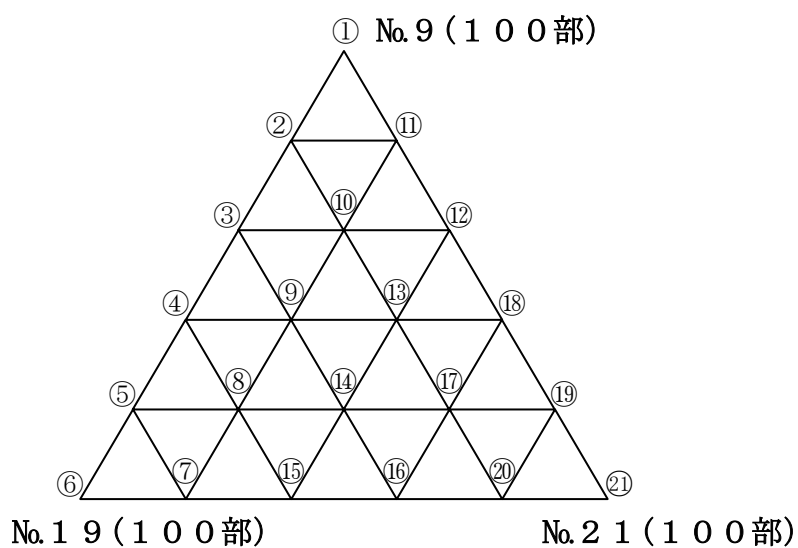
鋼板の厚みによる差が顕著であり、厚みが増すにつれて熱容量も大きくなり、-15度の表面温度が過冷却水の温度に近づくには時間はがかかりすぎ、着氷が加速したと思われる。着氷塗料間の差は明確ではない。今後は定量的見方を行うことが必要と思われる。

5, 6 シリコンゴム系組合せ効果の検討

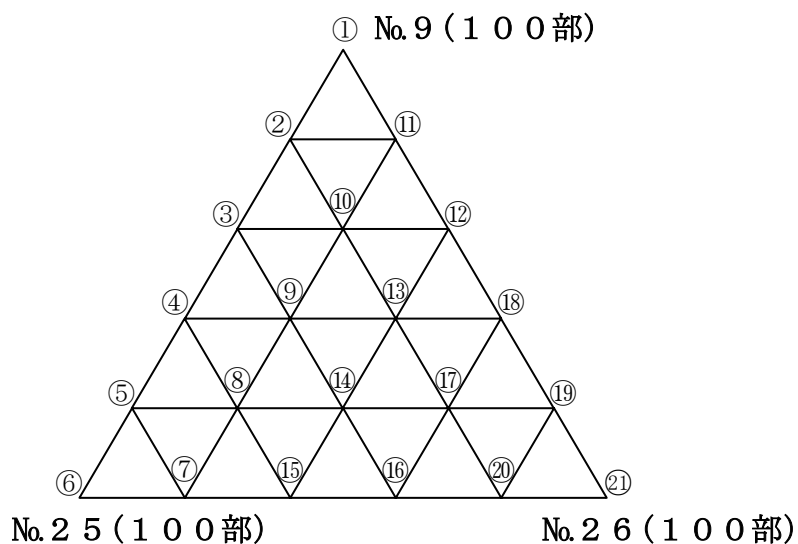
微粒子No. 9を中心として、「No. 9 - No. 19 - No. 21」及び「No. 9 - No. 25 - No. 26」系の組合せ効果を検討した。

5, 6, 1 組合せ (三角図法)

(1) No. 9 A系



(2) No. 9 B系



5, 6, 2 配合

(1) No.9 A系

試料 No.	微粒子材料No.			塗料配合					計	混合比 主/硬
	9	19	21	樹脂	No.9	No.19	No.21	溶剤		
1	100			76.4	13.2			10.4	100	↑
2	80	20			10.6	2.6				
3	60	40			7.9	5.3				
4	40	60			5.3	7.9				
5	20	80			2.6	10.6				
6		100				13.2				
7		80	20			10.6	2.6			
8	20	60	20		2.6	7.9	2.7			
9	40	40	20		5.3	5.3	2.6			
10	60	20	20		7.3	2.6	2.7			86.8
11	80		20		10.6		2.6			13.2
12	60		40		7.9		5.3			
13	40	20	40		5.3	2.6	5.3			
14	20	40	40		2.6	5.3	5.3			
15		60	40			7.9	5.3			
16		40	60			5.3	7.9			
17	20	20	60		2.6	2.7	7.9			
18	40		60		5.3		7.9			
19	20		80		2.6		10.6			
20		20	80			2.6	10.6			
21			100	↓			13.2	↓	↓	↓

☆試料（試験片）No.は9A-1~~~~9A-21

(2) No. 9 B系

試料 No.	微粒子材料No.			塗料配合					計	混合比 主/硬
	9	25	26	樹脂	No.9	No.25	No.26	溶剤		
1	100			76.4	13.2			10.4	100	↑
2	80	20			10.6	2.6				
3	60	40			7.9	5.3				
4	40	60			5.3	7.9				
5	20	80			2.6	10.6				
6		100				13.2				
7		80	20			10.6	2.6			
8	20	60	20		2.6	7.9	2.7			
9	40	40	20		5.3	5.3	2.6			
10	60	20	20		7.3	2.6	2.7			86.8
11	80		20		10.6		2.6			13.2
12	60		40		7.9		5.3			
13	40	20	40		5.3	2.6	5.3			
14	20	40	40		2.6	5.3	5.3			
15		60	40			7.9	5.3			
16		40	60			5.3	7.9			
17	20	20	60		2.6	2.7	7.9			
18	40		60		5.3		7.9			
19	20		80		2.6		10.6			
20		20	80			2.6	10.6			
21			100	↓			13.2	↓	↓	↓

☆試料（試験片）No.は9B-1~~~~9B-21

5, 6, 3 試験項目

- (1) 水滴転落角の測定
- (2) 着氷付着力の測定

5, 6, 4 実験結果

以下実験結果-1~-3の示す。

☆実験結果－1

試料 No.	水滴滑落角		着氷付着力, N/cm ²				氷柱衝撃剥離角(°)		
	初期値	劣化後	初期値		劣化後		初期値	劣化後	
			1	2	1	2		1	2
9A-1	15	35	22	26	21	25	60	60	90
-2	15	35	26	33	29	26	90	90	90
-3	15	33	21	23	30	16	90	90	60
-4	15	30	18	22	31	39	60	60	60
-5	15	35	28	22	25	17	90	60	60
-6	15	35	26	28	17	26	60	60	120
-7	15	40	18	28	27	25	45	90	45
-8	15	40	27	31	27	27	45	45	45
-9	15	35	23	29	35	30	45	90	120
-10	15	38	23	25	26	22	45	90	60
-11	15	38	17	25	23	17	60	30	60
-12	15	38	25	20	24	16	45	60	45
-13	15	43	24	20	28	31	60	90	45
-14	15	35	22	18	27	11	60	30	90
-15	15	40	27	33	29	21	60	90	90
-16	15	38	24	27	25	27	30	60	30
-17	15	45	21	24	26	32	45	90	90
-18	15	40	24	26	20	25	30	45	90
-19	15	40	22	20	16	26	45	60	45
-20	15	35	23	22	23	28	60	60	120
-21	15	35	23	25	29	39	60	45	45
9B-1	15	45	26	25	28	36	90	45	90
-2	15	35	30	21	27	35	45	90	45
-3	15	50	38	21	37	30	60	60	60
-4	20	60	32	46	35	35	45	60	60
-5	22	45	42	33	38	45	45	90	120<
-6	20	40	32	26	37	49	60	120	120<
-7	20	55	50<	46	40	34	60	120	90
-8	15	45	48	34	42	39	60	90	90
-9	15	45	42	30	38	36	60	90	90
-10	15	50	31	22	32	36	90	120	45
-11	18	45	35	33	40	19	60	60	90
-12	15	30	18	29	26	28	45	90	60
-13	20	45	25	30	33	32	60	120	90
-14	20	40	44	42	32	37	60	120	90
-15	20	45	46	39	40	45	120<	90	120<
-16	20	50	26	32	30	39	60	120	120
-17	20	45	26	27	37	30	45	60	90
-18	20	45	38	27	34	39	60	60	45
-19	20	45	35	25	40	35	60	90	120<
-20	20	45	34	40	40	38	90	90	120<
-21	20	42	42	50<	40	30	60	60	90

☆実験結果－２（９Ａ－１～２１の劣化後の水接触角）

試験片No.	水接触角（°）	試験片No.	水接触角（°）
9A-1	107	9A-12	107
-2	109	-13	106
-3	106	-14	105
-4	106	-15	105
-5	106	-16	105
-6	106	-17	105
-7	107	-18	106
-8	106	-19	107
-9	106	-20	105
-10	105	-21	104
-11	107	PTFE(新)	109/110

☆実験結果－３ 9A-1～21（追加暴露8/1～9/20後）

No.	撥水性	水滴滑落角	水接触角	No.	撥水性	水滴滑落角	水接触角
9A-1	△	55	107	9A-12	△	50	101
-2	○	55	105	-13	△	55	112
-3	△	50	101	-14	△	50	102
-4	○	45	101	-15	△	55	99
-5	△	50	105	-16	△	45	100
-6	△	55	101	-17	△	50	108
-7	△	45	103	-18	△	50	103
-8	△	45	105	-19	△	55	104
-9	○	50	102	-20	△	55	98
-10	△	55	100	-21	△	55	101
-11	△	55	101	PTFE	△	45	108

5, 6, 5 まとめ

以上の結果は概ね以下のように要約される。

(1) No. 9 - No. 1 9 - No. 2 1 系はNo. 9 - No. 2 5 - No. 2 6 系に比較して明らかに優れている。特に着氷付着力において、後者は劣化後の2回測定平均値で20N台が僅かに1試料しかない。さらに水滴転落角及び氷柱衝撃剥離角も前者に比較して劣る。

(2) No. 9、No. 1 9 は単独系でも良好、No. 2 1 はやや劣る。粒子径の影響と推察される。表面粗度が異常に大きく、所謂ナノメートルレベルでの表面粗度とは本質的に異なるものと思われる。しかし、No. 9 / No. 2 1 の組み合わせはNo. 9 / No. 1 9 のそれより良好なものが多く得られた。

(3) 水滴転落角、氷柱衝撃剥離角度、着氷付着力との相関性について9 A 系 (No. 9 - No. 1 9 - No. 2 1) について解析した。

まず、開発目標の中心を着氷付着力に中心におき、他の性能との関係について考察した場合、

→着氷付着力／水滴転落角の関係 (劣化後のデータ)

着氷付着力の限界値を25Nとした場合、これをクリアする組成は11種類、この中で水滴転落角が35度>のものは6種類で55%である。

→着氷付着力／氷柱衝撃剥離角度の関係 (劣化後のデータ)

同様な設定で、氷柱衝撃剥離角度の限界値を60度>のものは11種類で100%、45度>のものは5種類で45%である。

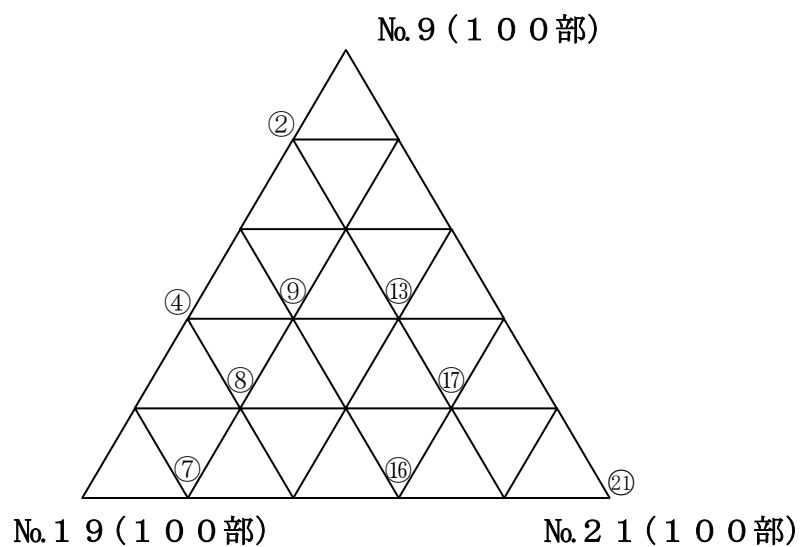
次に、水滴転落角と氷柱衝撃剥離角度の関係について考察した場合、21種類の試料で、水滴転落角35度>と氷柱衝撃剥離角度60度>が整合するものは8種類、38%である。



総じて、相関関係は60%近傍にあり、緩やかな相関関係を見出すことができた。ただし、水滴転落角と氷柱衝撃剥離角度は相関傾向にあると解釈できる。

(4) 9 A - 1 ~ 2 1 の水浸漬劣化後の水接触角は全て100度以上で開発目標値をクリアした。PTFEの非劣化板との大きな差も見られないことが判明した。

(5) 図形表示による見方



No 着氷付着力 (劣化後) 25 N>の組成

No. 9—No. 21の線に沿って良好な物が偏在しており、No. 9—No. 19、No. 19—No. 21同位置 (組成の比率が同じ) 良好なものが見出された。三成分系は明確な効果が見出せない。

5, 7 シリコーンゴム及びシリコーン複合微粒子の確証試験

シリコーンゴム系及びシリコーン複合系微粒子はこれまでの試験において目標をクリアする傾向にあり、再確証のため本系統の微粒子に関する検討を行った。

5, 7, 1 微粒子の種類

原料No.	粒子径(μ)	系 統
No. 5	5	シリコーン複合系
No. 6	30	〃
No. 7	0.8	〃
No. 9	5	シリコーンゴム
No. 19	13	〃
No. 21	40	〃

5, 7, 2 微粒子併用（組合わせ）システム

- 1) シリコーン複合系単品及び併用（50/50）
- 2) シリコーンゴム単品及び併用（50/50）
- 3) 微粒子の配合は40%（対樹脂固形分）

試作試料No.（シリコーン複合系）

	No. 5	No. 6	No. 7
No. 5	153	—	—
No. 6	154	156	—
No. 7	155	157	158

試作試料No.（シリコーンゴム）

	No. 9	No. 19	No. 21
No. 9	159	—	—
No. 19	160	162	—
No. 21	161	163	164

5, 7, 3 配合

主剤：シリコン複合系

原料No.	1 5 3	1 5 4	1 5 5	1 5 6	1 5 7	1 5 8
樹脂	7 6.4	←	←	←	←	←
No. 5	1 3.2	6.6	6.6			
No. 6		6.6		1 3.2	6.6	
No. 7			6.6		6.6	1 3.2
溶剤	1 0.4	←	←	←	←	←
計	1 0 0.0					
主剤／硬化剤	8 6.8 / 1 3.2					

主剤：シリコンゴム系

原料No.	1 5 9	1 6 0	1 6 1	1 6 2	1 6 3	1 6 4
樹脂	7 6.4	←	←	←	←	←
No. 9	1 3.2	6.6	6.6			
No. 1 9		6.6		1 3.2	6.6	
No. 2 1			6.6		6.6	1 3.2
溶剤	1 0.4	←	←	←	←	←
計	1 0 0.0					
主剤／硬化剤	8 6.2 / 1 3.2					

5, 7, 4 比較対象品

- (1) P T F E
- (2) No. 8 1 (基材樹脂)
- (3) No. 1 6 5 (フッ素樹脂塗料、市販品)
- (4) No. 1 6 6 (セラミック塗料、市販品)

5, 7, 5 試験項目

- (1) 着氷付着力 (PPG 法、初期値／劣化後)
- (2) 氷柱衝撃剥離角 (初期値／劣化後)
- (3) 水滴滑落角 (初期値／劣化後)
- (4) 撥水性 (劣化後)
- (5) 着氷性 (過冷却水接触法)
- (6) 水接触角 (劣化後)

5, 7, 6 実験結果

(1) 着氷付着力、撥水性、水接触角

	着氷付着力(N/2cm ²)						撥水性(劣化後)		水接触角劣化(B)	総合評価
	初期値		劣化(A)		劣化(B)		A	B		
	1	2	1	2	1	2				
153	30	39	50	50<			○	—		
154	28	18	35	50<			○	—		
155	28	28	49	—			○	—		
156	27	22	29	47			○	—		
157	27	50	26	50<			○	—		
158	25	32	50<	50<			○	—		
159	21	20	31	31	38	24	○	○	105	☆
160	23	18	26	33	37	27	○	○	104	
161	17	19	25	26	31	30	○	○	104	☆
162	20	22	32	—	28	44	○	○	103	
163	17	18	25	29	28	29	○	○	107	☆
164	25	21	22	29	32	—	○	○	101	
PTFE	40	28	50<	44	37	47	○	○	107	
81	25	25	48	30	50<	50<	○	×	93	
165	50<	50<	50<	50<	50<	50<	△	×	99	
166	50<	50<	50<	50<	50<	50<	△	×	77	

劣化条件 A: 水浸漬30日 B: 水浸漬30日+暴露30日

(2) 氷柱衝撃剥離角、水滴滑落角着氷付着力(N/2cm²)

	氷柱衝撃剥離角(°)					水滴滑落角(°)			総合評価
	初期値		劣化(A)		劣化(B)	初期	劣化(A)	劣化(B)	
	1	2	1	2					
153	90	90	90	120		15	40		
154	90	60	90	120		20	35		
155	120	60	90	90		15	45		
156	60	60	60	60		15	30		
157	90	60	120	120		15	40		
158	120	60	45	90		15	45		
159	45	90	45	60	120	15	25	90	☆
160	90	60	90	90	60	15	40	120	
161	45	45	120	60	90	20	40	120	☆
162	45	45	60	60	165	15	30	120	
163	45	45	60	90	135	15	30	165	
164	30	60	90	90	90	15	35	165	
PTFE	90	45	60	45	90	20	30	120	
81	120	90	120	120	135	15	45	135	
165	60	60	120	120	165	35	40	165	
166	120	90	120	120	120	35	40	120	

(1) 着氷性、撥水性

	着氷性			撥水性		総合評価
	初期	劣化(B)-1	劣化(B)-2	劣化(A)	劣化(B)	
153	A	B	B	○	○	
154	A-B	B	A-B	○	○	
155	A	A-B	B	○	○	
156	A	—	—	○	○	
157	B	A-B	A	○	○	
158	A-B	A-B	B	○	△-○	
159	A	A-B	B	○	○	
160	A-B	B	A	○	○	
161	A	A	A	○	○	☆
162	B	B	B	○	○	
163	A	A	A-B	○	○	☆
164	A	B	B	○	○	
PTFE	C	C	C	○	△-○	
81	C	A	B	○	○	
165	C	C	C	×	×	
166	A	C	C	×	×	

注：PTFEは3.2mm厚

5, 7, 7 まとめ

以上の結果以下の点が明確になった。

- (1) 微粒子の形態として、シリコン複合系はシリコンゴムに比較して、着氷防止機能の代表特性がやや劣る傾向がある。特に着氷付着性、水滴転落角、氷柱衝撃剥離角において差が認められた。
- (2) 撥水性に関しては、シリコン複合系とシリコンゴムにはさほど差は無く、双方良好であった。
- (3) 比較対象品として今回適用した、フッ素及びセラミック系は、撥水性、着氷付着性とも、開発品に比較して著しく性能が劣る。
- (4) PTFEは撥水性は確かに認められるが、総合評価では開発品に比較して見劣りする結果が得られた。
- (5) 試験内容により、シリコン複合系を検討より除外した。



最終的に、開発候補品として、試作No.159、161、163の3種に絞込み、今後これを中心に検討することにした。

5, 8 表面温度／板厚／着氷性の関係－2

塗装試験片を -15°C で冷却し、この表面に同じ温度下で $100\text{cc}/20$ 秒の散水条件により着氷実験を行った。以下その結果を示す。

No.	鋼板の厚さ(mm)	塗料の種類	着氷面積 (%)
1	0.8	No.159	30
2	〃	No.162	20
3	〃	No.164	20
4	1.6	No.159	30
5	〃	No.162	30
6	〃	No.164	20
7	2.3	No.159	60
8	〃	No.162	60
9	〃	No.164	40
10	3.2	No.159	70
11	〃	No.162	80
12	〃	No.164	60

<まとめ>

鋼板の厚みにより着氷し易くなることが明確になった。熱容量の影響で過冷却水が接触した場合、厚いほど表面温度の上昇が遅延するために、着氷し易いものと推定される。塗料間の差は本試料では認められなかった。これに関しても、より定量的な評価方法を検討する必要がある。

5, 9 各種塗膜／素材の水滴転落角、及び着氷量の測定

各種塗膜の水滴転落角、及び着氷量を測定し、その挙動、差異を明確にする。

5, 9, 1 供試塗膜及び素材の種類

塗料	各種素材
① 着氷防止塗料 (No.159)	⑪ 亜鉛めっき
② 着氷防止塗料 (No.161)	⑫ 硬質塩ビ
③ 着氷防止塗料 (No.163)	⑬ サイジングボード
④ 着氷防止塗料 (No.81)	⑭ 冷間圧延鋼板
⑤ 塩化ゴム系	⑮ SUS
⑥ 油性系	⑯ アルミ
⑦ ビニル系	⑰ 銅板
⑧ 変性エポキシ系	⑱ PE
⑨ ポリウレタン系	⑲ ABS
⑩ フッ素系	⑳ スレート板
	㉑ PP
	㉒ PTFE

5, 9, 2 着氷量測定方法

70×150mmの塗装板及び各種素材を-15℃で18時間冷却し、30度に傾斜させて、その表面に過冷却状態の水を1回散水し、着氷量を直ちに電子天秤で測定した。

5, 9, 3 測定結果

(1) 水滴滑落角測定

No.	度	No.	度	No.	度
1	15	8	55	15	45
2	15	9	35	16	30
3	15	10	30	17	45
4	15	11	30	18	28
5	35	12	45	19	30
6	55	13	45	20	拡散
7	35	14	45	21	30

(3) 着氷量測定

	測定結果 (g)					総平均
	1	2	3	4	5	
①	1.53	1.20	1.41	1.58	2.28	1.60
②	1.58	1.20	2.23	2.04	2.06	1.82
③	1.73	1.71	2.67	2.92	2.48	2.29
④	1.70	1.31	2.30	3.48	2.15	2.18
⑤	2.33	2.57	3.08	3.14	3.56	3.37
⑥	2.27	2.61	3.18	3.16	2.79	2.80
⑦	2.82	2.31	3.25	3.33	2.86	2.91
⑧	2.34	2.41	3.08	3.13	3.08	2.81
⑨	2.40	2.38	2.92	3.65	2.91	2.86
⑩	1.87	2.71	2.92	3.69	2.96	2.83
⑪	1.92	1.91	2.44	2.34	1.94	2.11
⑫	1.95	1.84	2.81	2.69	2.90	2.44
⑬	2.82	3.35	—	—		3.08
⑭	2.09	2.11	2.16	2.39	2.36	2.22
⑮	2.13	2.08	2.49	2.50	2.50	2.34
⑯	1.59	1.45	1.78	2.15	1.70	1.73
⑰	1.34	1.77	1.71	2.46	1.76	1.81
⑱	1.67	2.16	2.77	3.80	2.97	2.67
⑲	1.04	1.04	1.83	1.63	1.71	1.45
⑳	2.59	3.48	—	—		3.76
㉑	2.42	1.16	—	—		1.79
㉒	3.75		5.00	5.24	5.45	3.89

備考：①測定結果1, 2は100cc/10秒で、3, 4, 5は100cc
/20秒で散水した。

②PTFEは3.2mm t厚である。

5, 10 各種塗膜／素材の水接触角の測定

開発候補品の位置付けを明確するため、各種塗膜及び各種素材に関する基本的（初期）水接触角を測定した。

5, 10, 1 供試塗膜及び素材の種類

塗料	各種素材
① 着氷防止塗料 (No. 159)	⑪ 亜鉛めっき
② 着氷防止塗料 (No. 161)	⑫ 硬質塩ビ
③ 着氷防止塗料 (No. 163)	⑬ — (欠足)
④ 着氷防止塗料 (No. 81)	⑭ 冷間圧延鋼板
⑤ 塩化ゴム系	⑮ SUS
⑥ 油性系	⑯ アルミ
⑦ ビニル系	⑰ 銅板
⑧ 変性エポキシ系	⑱ PE
⑨ ポリウレタン系	⑲ ABS
⑩ フッ素系	PTFE

5, 10, 2 測定結果

No.	水接触角	No.	水接触角
①	105	⑪	81
②	105	⑫	63
③	104	⑭	58
④	102	⑮	93
⑤	95	⑯	82
⑥	87	⑰	83
⑦	82	⑱	76
⑧	79	⑲	82
⑨	82		
⑩	95	PTFE	107

5, 10, 3 まとめ

本開発研究で絞り込んだ3種類の塗料 (No.159、No.161、No.163) 及び基材樹脂、さらに **PTFE** はいずれも100度以上の水接触角を示した。

一方、既存塗料では塩化ゴム系やフッ素系塗料は元来撥水性が大きいために100度に近い結果であった。ウレタン系、油性系、ビニル系はほぼ同レベルの水接触角であり、撥水性の定性的評価(水接触時の弾き方)とほぼ一致する。また、各種素材においては、鋼材(冷間圧延鋼板)は最も水との親和性が大きく60度以下、高質塩化ビニルと**PE**は予想に反してにも撥水性を示さず、各々63度、76度と低い値を示した。金属系では**SUS**が最も高い値を示したが、共通して、表面を均一に濡らす傾向があり、アルミ、銅、亜鉛めっきは80度台前半で横一線という結果であった。



結論として、着氷防止機能の代表特性の有力な指標(評価方法)としての水接触角に着目した場合、開発候補品の評価は、船舶に適用される各種素材より高いレベルにあることが確認できた。

5, 1 1 落下衝撃による着氷残量の測定－1

着氷させた試験材を一定の高さより落下させ、着氷残量を測定し、材料ごとの差を明確にする。

5, 1 1, 1 供試試料

- 1) 着氷防止塗料試作品 No.1 5 9
- 2) " No.1 6 1
- 3) " No.1 6 3
- 4) C R
- 5) O L
- 6) ビニル
- 7) 変性エポキシ
- 8) フッ素塗料

5, 1 1, 2 試験片の調整方法

上記試料を各々2枚、1.6×70×150mm tのボンデ処理板に、変性エポキシを下塗りにして刷毛で塗装した。裏面は着氷を極力最小化するために、着氷防止用塗料（No.1 5 9）を共通して刷毛で塗装した。

5, 1 1, 3 試験方法と試験結果

1) 30度傾斜面で散水した場合の着氷量と落下後の着氷残量

各塗装試験片を－15℃で4時間冷却し、30度傾斜面で過冷却下の水を5回散水を繰り返し、着氷させその着氷量を測定し、引き続き150cmの高さより水平状態で2回落下させた後の着氷残量を測定した。

	散水後の着氷量(g)		落下後の着氷残量(g)	
	(1)	(2)	(1)	(2)
1) 試作品 No.1 5 9	2.9 9	3.6 9	0.2 0	0.1 8
2) " No.1 6 1	3.7 7	3.6 6	0.0 3	0.0 0
3) " No.1 6 3	3.4 1	3.2 5	0.5 7	0.7 0
4) C R	3.1 6	3.9 6	0.5 8	0.6 4
5) O L	3.7 0	3.7 2	1.6 6	2.1 8
6) ビニル	3.5 8	3.9 6	1.0 8	2.6 1
7) 変性エポキシ	1.7 4	3.8 7	1.2 0	0.0 7
8) フッ素塗料	3.6 3	3.8 0	0.9 9	1.1 4

2) 水浸漬1ヶ月後の過冷却水浸漬後の着氷量と落下後の着氷残量

各塗装試験片を-15℃で4時間冷却し、過冷却水に3回浸漬を繰り返し、着氷させ、その着氷量を測定し、引き続き150cmの高さより水平状態で2回落下させた後の着氷残量を測定した。

	散水後の着氷量(g)		落下後の着氷残量(g)	
	(1)	(2)	(1)	(2)
1) 試作品 No.159	6.61	7.28	0.06	0.02
2) " No.161	7.59	7.28	0.00	0.06
3) " No.163	8.02	7.54	0.03	0.10
4) CR	7.45	7.60	1.13	0.15
5) OL	7.31	7.89	1.31	0.88
6) ビニル	3.77	3.32	2.58	1.49
7) 変性エポキシ	7.57	7.34	1.93	2.30
8) フッ素塗料	8.00	7.47	0.74	0.06

5, 11, 4 まとめ

1) 初期試験

①着氷量

開発試作品No.159、No.161、No.163は平均値で3.3~3.7台、敢えてNo.159、No.163は低いものの、優位性はないとみなせる。

また既存品においても3.5~3.8台で差がなく、前者との有意差はないとみなすことが妥当であると思われる。

②落下後の着氷残量

開発試作品No.159、No.161、No.163の内、No.159、No.163は0.0~0.2と低く、塩化ゴムを除く既存品の1.0~2.0台とは大きな差が認められた。塩化ゴムは初期段階では撥水性が良いこれまでの定量、定性的データと整合性がある。

2) 水浸漬1ヶ月後の試験

①着氷量

初期試験と同様に、着氷量の差は認められない。唯一ビニル系が3g台の結果を示した。

②落下後の着氷残量

開発候補品3種は初期試験と同様、0.00~0.6(g)、既存塗料は10~100倍、フッ素系は良好な結果を示した。

5, 1 2 落下衝撃による着氷残量の測定－2

5, 1 1の再確認試験を、試験片の作製方法（表面処理、試験板の厚み、塗装仕様）を変え、さらにP T F Eを追加して実施した（初期データのみ）。

5, 1 2, 1 供試試料

- 1) 着氷防止塗料試作品 No.1 5 9
- 2) " No.1 6 1
- 3) " No.1 6 3
- 4) C R
- 5) O L
- 6) ビニル
- 7) 変性エポキシ
- 8) フッ素塗料
- 9) P T F E

5, 1 2, 2 試験片の調整方法

上記試料を各々2枚、3.2×70×150mm tのブラスト処理板に、変性エポキシを下塗りにして刷毛で両面塗装し、さらに上記塗料を刷毛で両面塗装した。前述の5, 1 1とは異なり、試験片の厚みを2倍に変更した。

5, 1 2, 3 試験方法と試験結果

各塗装試験片を4時間－15℃で冷却し、過冷却水に3回浸漬を繰り返し、着氷させ、10分経過後再度3回浸漬を繰り返した後、その着氷量を測定し、引き続き150cmの高さより水平状態で2回落下させた後の着氷残量を測定した。

	散水後の着氷量(g)		落下後の着氷残量(g)	
	(1)	(2)	(1)	(2)
1) 試作品 No.1 5 9	1 0.5 5	1 0.5 1	0.0 4	0.1 8
2) " No.1 6 1	9.5 0	9.7	0.2 5	0.1 6
3) " No.1 6 3	9.3 2	9.4 9	0.0 4	0.0 5
4) C R	1 0.7 8	9.8 9	0.5 2	0.0 5
5) O L	1 0.7 9	1 0.2 9	8.7 1	6.9 9
6) ビニル	1 1.4 3	1 0.9 2	1.2 7	0.5 6
7) 変性エポキシ	1 0.9 3	1 1.1 8	2.1 3	0.1 8
8) フッ素塗料	1 0.4 3	1 0.8 6	0.0 7	0.6 9
9) P T F E	1 0.2 6	1 1.3 5	0.0 5	1.2 0

5, 12, 4 まとめ

落下試験は水平に限りなく近い状態で床に衝突しないと剥がれにくく、かなりバラツキが予想されるため、板厚を3.2 mmにして重量をアップした結果、剥がれる時の状態がかなり均一化した。

開発候補品は3種とも残存量が少なく、油性塗料が特に多く残存した。しかし今回既存塗料でも一部に（CR、フッ素）0.05～0.07台のものも見られた。

総合的に本落下試験は着氷の易除去性に関連するものであり、初期板であるにしても開発候補品の優位性が確認されたと思われる。

5, 13 各種素材の着氷付着力と氷柱衝撃剥離角の測定

着氷防止開発候補品等、塗料以外の各種素材に関する基礎的データとして、これまでに実施した方法により、着氷付着量と氷柱衝撃剥離角を測定し、その位置付けを明確化する。

5, 13, 1 各種素材の種類 (No.は前記通り)

- 亜鉛めっき
- 高質塩ビ
- 冷間圧延鋼板
- SUS
- アルミ
- 銅板
- PE
- ABS
- No.159 (比較対象用、初期板)
- PTFE

5, 13, 2 実験結果

	着氷付着力 (B法) $N/2c \text{ m}^2$			氷柱衝撃剥離角 (度)
	(1)	(2)	(3)	
亜鉛めっき	> 50	> 50	35	90
高質塩ビ	0	0	22	付着せず
冷間圧延鋼板	> 50	> 50	45	120
SUS	> 50	> 50	48	135
アルミ	18	24	44	90
銅板	29	29	28	45
PE	7	4	0	付着せず
ABS	0	0	0	付着せず
No.159	0	0	36	付着せず
PTFE	0	> 50	—	90

5, 13, 3 まとめ

塗膜以外の各種素材のデータを集約すると以下のように纏められる。

- 1) 金属系の亜鉛めっき、冷間圧延鋼板（軟鋼板）、**SUS** は着氷付着力で 50 N/cm^2 (2.5 kg/cm^2) 以上で、中に 50 N/cm^2 以下のものが含まれるので略 2.5 kg/cm^2 であると推定され、氷柱衝撃剥離角も 90 度以上であるので、各々の水接触角、 81 、 58 、 93 （度）とは相関性に欠ける。またアルミ、銅の着氷付着力上記3種より低く、特に銅は氷柱衝撃剥離角は 45 度と低い。一方水接触角は各々 82 、 83 （度）と比較的高めで同じであり、緩やかな相関性が認められる。
- 2) プラスチック系の塩ビ、**PE**、**ABS** は本実験では着氷しにくい結果であるが、氷の生成過程での収縮力により、たわみ性のある表面に追従できず簡単に剥離したとも考えられる。因みに水接触角は各々 63 、 76 、 82 （度）と低く、撥水性の概念とは符合せず、相関性に欠ける。試験材の形状に一考を要し、板状ではなく構造体が適切であると考えられる。
- 3) 着氷防止用開発候補品のNo.159は、着氷付着力も低く、氷柱衝撃剥離角測定でも付着しない状態で、水接触角が 107 度と高く、高撥水性の表面の性質がそのまま着氷防止機能に反映されている。

6、総合評価

これまでの概念設計、供試樹脂の性状試験、塗料化試験、実地試験、塗膜性能試験を行い、効率的推進のため「現段階で最高と評価される基材樹脂（バインダー）を選択し、これに着氷防止機能を付与させる特徴的な撥水性微粒子を複数選定し、適切に配合して最適化する」というスキームで数種類の着氷防止塗料組成物に絞りこむことができた。

ここでは以上の検討結果の全体像を横断的に把握して、核となる命題を設定し、諸々の要素技術を駆使して総合評価を行った。

6、1 着氷防止の概念

着氷防止を高レベルで行う手段として、熱エネルギーを付与することが有効と考えられるが、対象部位が限定されることやエネルギーコストが嵩むという経済的側面で実用性に欠けること最大の難点であると指摘されている。このような着氷防止技術の現況に鑑み、本事業で「着氷防止塗料に関する技術開発」、さらに詳しくは塗装により着氷防止機能を有する表面被覆膜を形成する塗料を開発することにより、経済性、作業性に富む新技術を提供することを目的として実施した。

着氷防止の概念としては、以下の三つ考えられる。

概 念	内 容
非着氷性	対象表面を加熱して一定以上の温度に保つことにより水膜の生成を抑制し着氷しない状態にする。
難着氷性	対象表面を撥水性にし、水を排除することにより着氷し難い状態にする。
易着氷除去性	着氷はするものの、物理的な外力を加えることにより簡単に除氷できる状態にする。

塗料で表面改質を行うことにより着氷防止機能を発現させる場合、熱エネルギーの付与による「非着氷性」という概念をそのまま導入するには限界があり、**難着氷防止性**、さらに**易着氷除去性**を着氷防止の概念（基本的考え方）とした。因みに、加熱や保温に依存しない表面被覆膜、金属、さらに合成樹脂などで着氷しない（非着氷）という実証例の報告はなされていない。

6, 2 着氷防止塗料の試験方法に関する考察

本開発研究における試験・評価方法について規格化されたものは存在しない。現在公表されている方法としては、水接触角、着氷付着力、水滴滑落角等が主たるものである。しかし、これらの方法だけで着氷防止性を評価・判定するにはかなり飛躍した面があると思われ、本開発研究においては、さらに氷柱衝撃剥離角、着氷性（着氷面積率）、着氷量（落下衝撃による残存着氷量）、及び撥水性を追加し多面的な試験・評価方法を導入した。

(1) 水接触角

撥水性表面は自由エネルギー小さく、水接触角が大きくなる。このため水接触角の数値は着氷防止性を定量的に予測する上で極めて重要な要素となり、塗料性状試験や塗料化試験の要所要所に本試験を導入した。測定の結果、微粒子単独の固有データで、たとえばフッ化ピッチが 145° という値も基材樹脂と混合した場合、樹脂サイドのシフトして低下するものもあり、必ずしも微粒子そのものの性質を発現しない場合もあるが、撥水性シリカのように基材樹脂混合系でも 150° という数値を示す場合がある。総じて 100° 以上の値を示すものは定性的な撥水性評価では高い評価が得られた。着氷付着力との関係は一部の異常値（逆相関）があるが、緩やかな相関性があることが確認された。



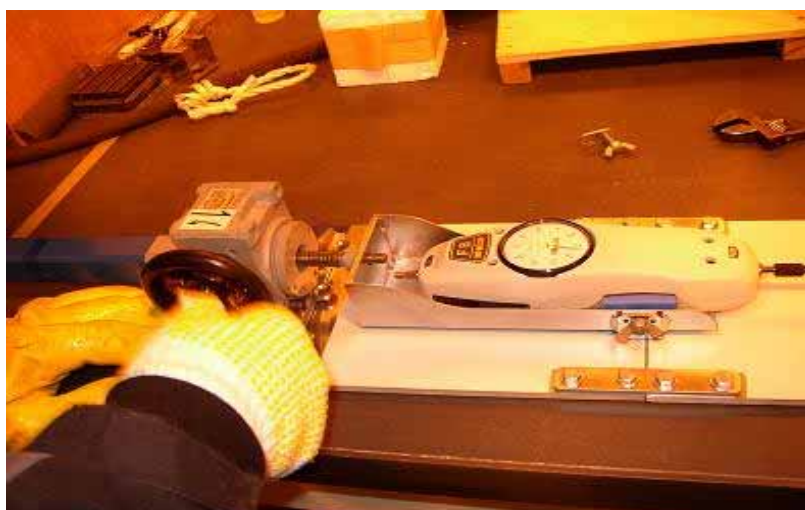
水接触角測定装置

(2) 着氷付着力

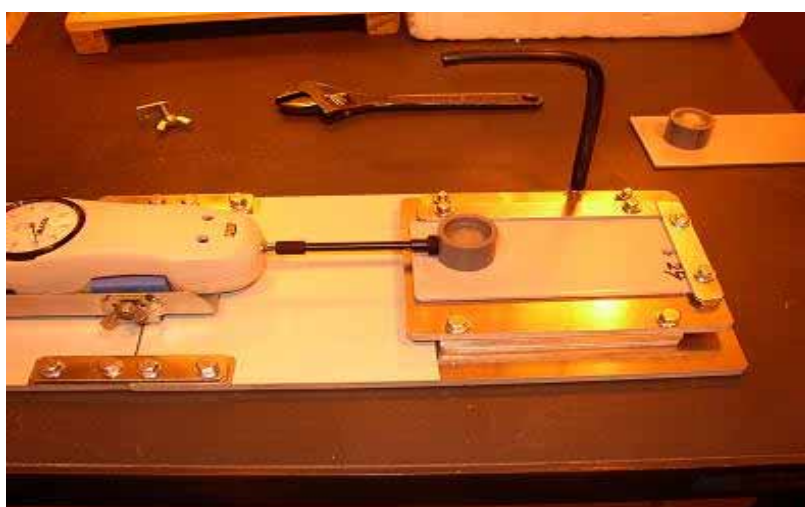
難着氷性、易着氷除去性を立証する上で着氷付着力を測定することは重要で、その値は限り無くゼロに近いことが望ましい。測定方法として引っ張りせん断付着力（テンシロン法）と独自で考案した固定型プッシュプルスケールによる

プッシュ式せん断付着力双方を採用した。テンシロンによる方法は管理された器械測定のため明確な値が得られるのに対し、プッシュプルスケールは50N（ニュートン）Max.のため、高付着力のものは、50N<というデータ採取しかできなかったのが問題であった。しかし、実用性が期待できる組成での表面は50N>の低付着力のデータ採取を行うことができた。但し、双方とも共通してバラツキが多く、複数回の測定による平均値での結果でデータ処理を行った。さらにプッシュプルスケール法は、プッシュ用ジグの設置位置の高低で測定値が変わるため、測定用塩化ビニル製リングの側面の中間位置で測定した（上面への設置はテコの原理が働くため回避）。双方のデータを比較した場合、ほぼ平行な関係にあることを確認したが、50N以上の高付着力範囲での関係は明確ではない。試験は-15℃の低温試験室で実施した。

<プッシュプルスケール>



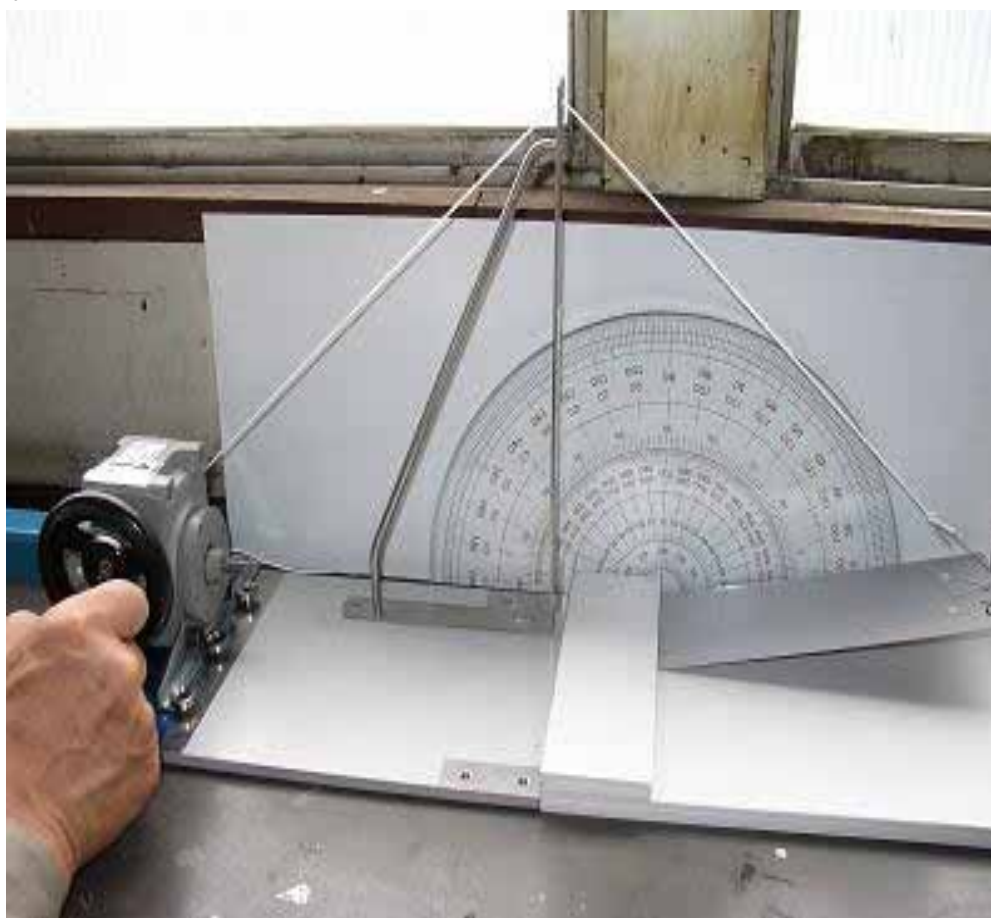
固定して、0.15mm/秒でハンドルを回す。



試験片と試験用ジグ

(3) 水滴滑落角

撥水性を定量的且つ簡便に評価するため水滴滑落角を測定した。水滴量は手動方式のため、通常測定機器よりやや多い $50\mu\text{l}$ とした。表面を水で濡らした時の弾き方と同様に、水滴は滑落し撥水性微粒子を配合したものは低角度で滑落する。通常の塗膜は初期段階で滑落角度が非常に高い。更に水浸漬や屋外暴露などで劣化させた場合滑落角が上昇するが、優れた撥水性を示す組成はその上昇速度は緩やかである。低撥水性のものは 90° でも動かないものも散見される。



水滴滑落角測定装置(目読式)

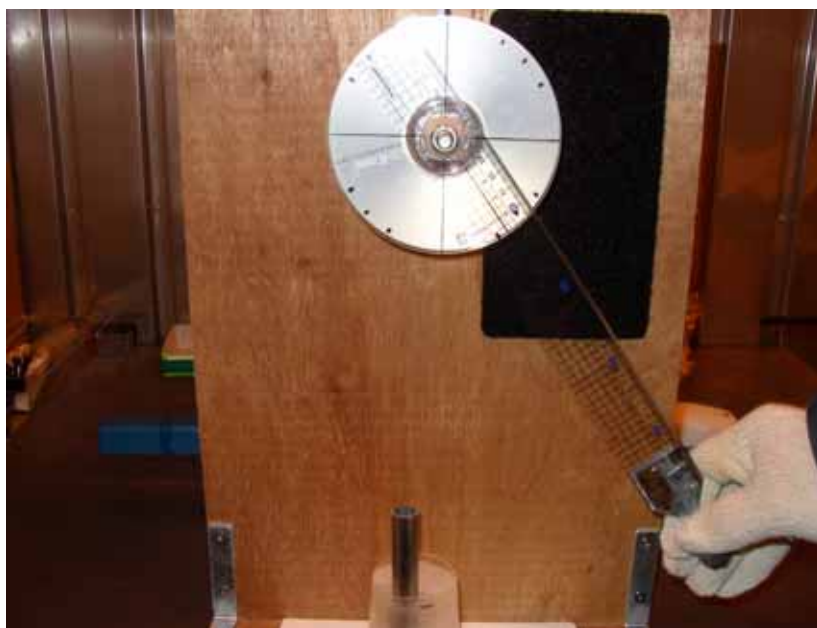
(4) 氷柱衝撃剥離角

下記の写真のように **PP** 容器で作製した氷柱の側面に荷重 60g の錘を付けた振り子を角度を変えて衝突させ、剥離した時の角度を読み取り、且つ剥離面の状態を観察（界面での層間剥離か氷の凝集剥離かの判定）した。

☆氷柱作製作業



☆衝撃剥離試験装置



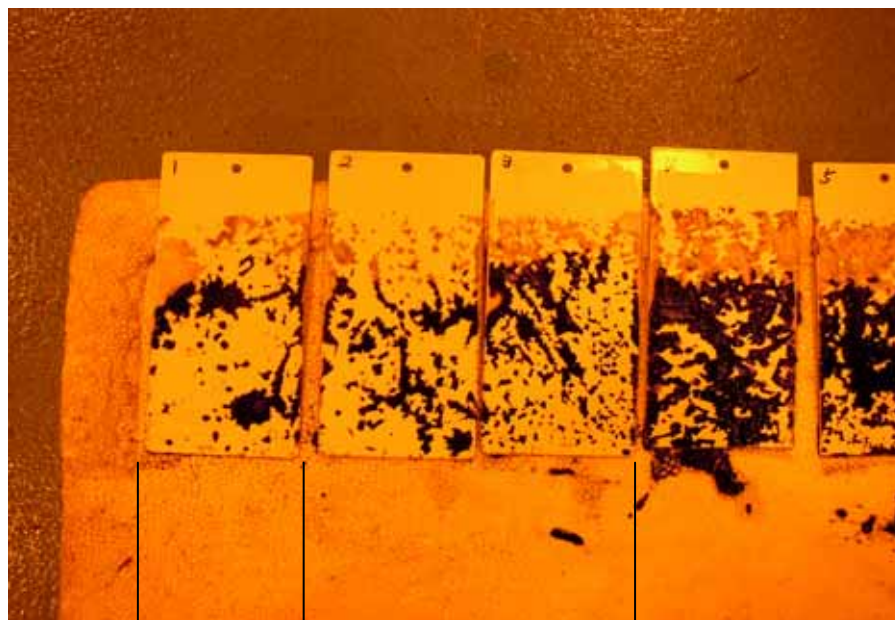
本試験方法はオリジナル品であり、剥離角及び $-m g \sin \theta$ 、双方でのデータ採りが可能である。製氷はポリプロピレン容器を使用し、過冷却水を極力均一な氷にするため1/4ずつ注水し、比熱の小さいスチールパイプを立てて製氷時間を短縮した。界面状態に起因すると思われるバラツキが多く、繰り返し試験が重要となる。製氷～測定は -15°C の低温試験室で行った。

(5) 着氷性 (着氷面積率)

難着氷性を確認する上で、 -15°C で冷却した試験片を過冷却水と接触させて着氷面積率を目測した。課題としては試験板の厚みによる差が大きく左右し、熱容量の大きい 3.2 mm t 板は過冷却水(融点以下の非凍結状態)の温度に到達する時間が長く、その間に氷の生成(着氷)し易く、 2.3 mm t 以下になると、熱容量の関係で水温に到達する時間が短くなり、氷の生成が遅延する。

一方 -5°C で冷却した場合には氷が生成(着氷)しにくくなり、非着氷領域になる。実測した結果、 1.6 mm では 20% 以下、 2.3 mm t では $20\sim40\%$ 、 3.2 mm t になると 40% 以上の着氷面積率となった。

下記は着氷面積率の凡その目安を示すもので、メチレンブルーを溶解した過冷却水中に塗装試験片を浸漬した時の着氷状態である。



着氷面積率→ | $20\%>$ | $20\sim40\%$ | $40\%<$

(6) 着氷量 (落下衝撃による残存着氷量)

易着氷除去性を定量的に把握するために、各塗装試験片に一定量の氷を生成させた後、 1.5 m の高さより水平に落下し残存着氷量を測定した。撥水性微粒子を配合した開発品と塩化ゴム系や油性系塗膜とは明確に着氷量の差が認められ、開発品はほぼゼロ近い値を示した。フッ素樹脂系塗膜やPTFE溶射板はその撥水性機能を発揮し、開発品との差が認められなかった。当該試験として塊状部材に塗装して実施した試験例が報告されており、よりバラツキを小さくする上で、さらに着氷させた後長時間経過した場合の残存着氷量の測定も今後の検討課題と言える。

(7) 撥水性

常温の環境下で試験片を水平に設置し、この上に水道水を散水した時の水の弾き具合を目視観察した。高撥水性表面は試験片角度がゼロに近くても瞬時に弾き、低撥水性表面は水の層がかなり残存するか、あるいは表面を完全に濡らす状態になり、簡便な方法として特に実地試験には欠かせない試験方法である。評価は水の弾きの程度を3段階に区分し、散水後瞬時に判定する。しかし劣化状態によっては一定の角度（10～30度）を与えて評価しないと良否判定が困難な場合が生ずる。

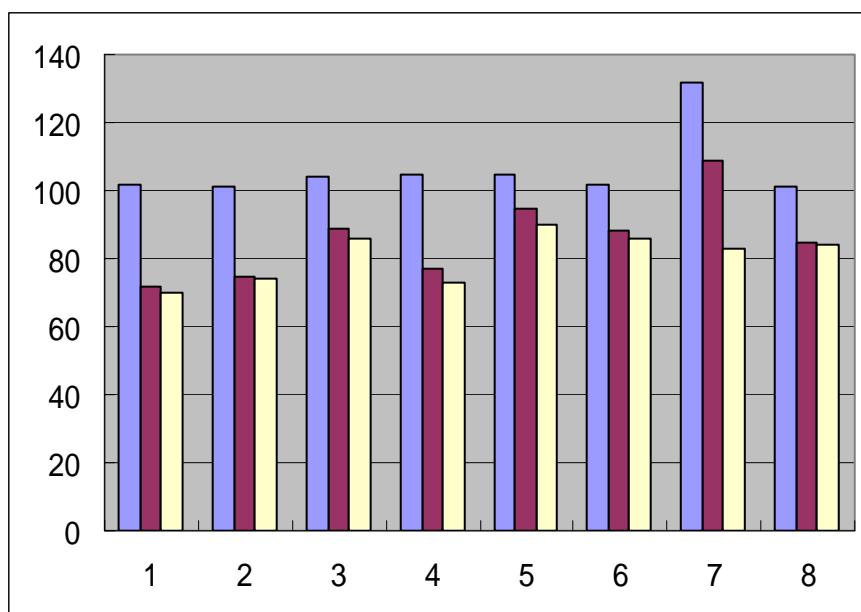
6, 3 撥水性微粒子選定に関する初期評価の総括

基材（バインダー）自身が撥水性（疎水性）を有するフッ素／シリコン複合系樹脂を固定し、これに超撥水性ないし撥水性機能を有する微粒子を種類と濃度を変えて、水接触角、着氷付着力を主体に検討した結果、先ず水接触角に関しては、微粒子としてフッ化ピッチ、フッ化グラファイト、シリコーンゴムシリコーン複合系、シリコーンレジン、PTFE、撥水性シリコン、メチルシリコンの8系統の初期値は、全て100度以上、中でも撥水性シリコンは150度程度という超撥水性を示したが、1年相当の促進暴露試験後で85%以上を維持しているものはシリコーンゴム、シリコーン複合系、PTFEの3種類で、その他は70～85%まで低下した。基材樹脂そのものは72%、比較対象用としてのポリウレタン塗膜（酸化チタン配合）63%に低下した。各微粒子の濃度（20～60%）に関しては、撥水性シリカのみ撥水性に正相関する結果を示し、その他は濃度間の差は顕著ではなかった。

次に着氷付着力に関しては、初期値でフッ化ピッチ、フッ化グラファイト、シリコーン複合系、シリコーンゴム、撥水性シリカ、PTFEが1kg/cm²以下を示したが、1年相当の促進暴露試験後で全体的に付着力は上昇するが、シリコーンゴム複合、シリコーンゴム、PTFEは1～2kg/cm²台を維持しており、微粒子原料の候補品とすることとした。更に着氷体の剥離した時の界面状態が、これら3種は共通して層間（界面）剥離であって、氷そのものの凝集破壊でないことが実証されたことも重要な要素である。

参考までに水接触角に関する各微粒子の試験データを集約して下図で示す。

- | | |
|-------------|-----------|
| 1、フッ化ピッチ | 5、シリコーンゴム |
| 2、フッ化グラファイト | 6、PTFE |
| 3、シリコーン複合系 | 7、疎水性シリカ |
| 4、シリコーンレジン | 8、メチルシリコン |



上記グラフは、

水 接 触 角 (°)	水 接 触 角 (°)	減 衰 率 (%)
-------------------------	-------------------------	--------------------

の順で示す。
初期値 → 3年相当劣化後

6, 4 撥水性微粒子選定に関する総合的評価

基材樹脂であるフッ素／シリコン複合系樹脂自身はその化学構造故に発現され、その塗膜の水接触角は初期値で100～105度、1年相当の促進暴露試験後で78～85度を維持し既存塗膜より上位にある。従ってこれ自身で着水防止機能が期待できるが、さらに開発目標値をクリアする上でその機能をより高める必要があり、撥水性各種微粒子による補強が有効となる。微粒子の選定因子として、種類、構造、粒度分布、その他の物理的特数値が関連する。以下に各微粒子の総合的撥水性挙動を示す。

微粒子の種類	撥水性の挙動
☆フッ化ピッチ	単体での水接触角は145度、基材樹脂混合系被膜では100度程度で樹脂支配で、屋外暴露によりピッチ成分により黒変し、粒径が不揃いで実用性に欠ける。
☆フッ化グラファイト	フッ素と炭素から成る層状体で、粒径も5μm以下で単体ではPTFEより高撥水性を示すが、基材混合系被膜では100度以上の水接触角を示すが、樹脂支配で、劣化後の低下が大きい。

☆シリコン複合系	シリコンゴム微粒子の表面をシリコンレジンで被覆したもので、基材樹脂混合被膜でもより高い水接触角と良好な維持性を示した。粒径が1 μm以下では劣化後の水接触角の維持性が劣るが、5～30 μmが良好である。
☆シリコンレジン	三次元網目構造架橋構造のポリオルガノシルセスキオキサン硬化物であるが、基材樹脂混合系被膜では、劣化後の水接触角の低下が大きく、実用性に欠ける。粒径の影響も無かった。
☆シリコンゴム	直鎖状のジメチルポリシロキサンの架橋体で、基材樹脂混合系被膜での水接触角の初期及び劣化後の維持性が良好で、更に5～40 μmの範囲での差も認められない。
☆PTFE (ポリテトラフルオロエチレン)	典型的な撥水性材料で、基材樹脂混合系被膜は一定量以上での撥水性付与効果が認められた。粒径が小さくなるほどよい結果が得られた。溶剤分散型と粉体型双方があるが、その差は認められない。最も応用例が多く公表されている。
☆疎水性シリカ	2～5 μm、見かけ比重0.2～0.4で、基材樹脂混合被膜での水接触角は最高150度以上の超撥水性膜が得られた。水平面でも100%水を弾くが、着氷付着試験ではその値が高く、氷の凝集破壊が特徴的で、易除去性に影響すると判断した。
☆メチルシリコン	基材樹脂混合系被膜の水接触角は比較的高レベルにあるが、着氷付着性試験で全て凝集破壊を示し、易除去性に影響すると判断した。

6, 5 撥水性微粒子の併用効果

各撥水性微粒子の長所をピックアップし、2種以上併用した時の相乗効果を確認するための検討を行った。微粒子としては安定した撥水性を示すものと超撥水性を示すものを選定し、総濃度60%で塗料を調整して試験した実験例を示す。

選定した撥水性微粒子

微粒子の種類	粒径、 $\mu\text{m}\phi$
A, シリコーン複合	30
B, シリコーンゴム	5
C, PTFE	7
D, 疎水性シリカーA	4.9
E, 疎水性シリカーB	2.1
F, 疎水性シリカーC	< 1

☆撥水性微粒子としてシリコーン複合系を60%配合した場合と併用系と対比した場合、

微粒子と配合部数	水滴滑落角	水接触角	テンシロン	PPG	剥離形態
A : 60	○	95	4.4	2.5<	良好
A/E : 40/20	○	98	4.6	2.5<	不良
A/F : 40/20	×	100	5.5	2.5<	不良
A/B/C : 20/20/20	○	101	4.5	2.5<	良好

<注> 水滴滑落角：20度で測定、○：滑落した、×：滑落せず

水接触角：キセノン照射400hrs

テンシロン：キセノン照射400hrs、引張せん断力 kg/cm^2

PPG：プッシュプルスケール、水浸漬40日後、 kg/cm^2

剥離形態：層間剥離を良好、氷の凝集破壊を不良とした。



撥水性シリカの併用により、水接触角は大きくなるが、剥離形態が氷の凝集剥離で着氷付着力も上昇する傾向がある。ただし、付着力の実測データ間の差はこれを反映していない。PTFE系による阻害要素は見出せない。

☆撥水性微粒子としてシリコーンゴム系を60%配合した場合と併用系と対比した場合、

微粒子と配合部数	水滴滑落角	水接触角	テンシロン	PPG	剥離形態
B : 60	○	102	4.6	2.1	良好
B/E : 40/20	×	104	5.1	2.5<	良好
B/F : 40/20	×	111	7.1<	2.5<	不良
B/C/E : 20/20/20	○	101	4.5	2.5<	不良
B/C/F : 20/20/20	×	103	3.8	2.5<	不良

★試験条件は上記と同一

↓

撥水性シリカの併用により、水滴滑落角や剥離形態に悪影響が認められ、特に1 μm以下のものはその傾向が大きい。PTFE併用系でもその傾向は十分に払拭されない。

☆撥水性シリカを3種配合した場合

微粒子と配合部数	水滴滑落角	水接触角	テンシロン	PPG	剥離形態
D/E/F : 20/20/20	◎	142	7.1<	2.5<	不良

★試験条件は上記と同一

↓

粒径の異なる3種の撥水性シリカを混合した結果、卓越した水滴滑落角と高水接触角を示したが、付着強度が高く且つ剥離形態も不良で完全な逆相関の関係を示した。

6, 6 表面劣化方法による撥水性（着氷防止性）への影響

表面劣化方法として採用したキセノンアーク照射、屋外暴露試験、水浸漬試験は夫々確実に劣化が進行するが、表面に負荷されるエネルギー源が異なるため必ずしもデータに一環性はない。特に確立された寒冷地域の実態に対応した環境設定方法の規格はないが、促進を加味するという観点で、長期間の屋外暴露試験が最適であろうと思われる。キセノンランプ照射による促進試験に関して詳細調査した結果、400時間≒1年という考え方が凡その考え方のようである。本開発研究では以下の方法を採用した。

①室内乾燥

期間を問わず初期値用として適用した。日射、水、高湿度、高温に曝されないため、長期間表面の変化が生じにくい。

②水道水浸漬試験

1ヶ月浸漬を最低の期間として採用した。水の塗膜への浸透は極めて早く表面の変化を律する最大の要因である。初期値との乖離は確実になされる。

③屋外暴露試験

3ヵ月（夏場経過）を最低期間として採用した。実環境そのものであり、日射（特に紫外線）、温度変化（特に高温）、降雨、降雪、大気汚染（化学物質）等、全ての条件が整っている。初期値との乖離は確実になされる。今後も継続して当試験を行う。

④水道水浸漬／屋外暴露の交番試験

2ヶ月／2ヶ月を1サイクルとして採用した。水による劣化と暴露の要素が加わり、表面変化をより促進させる。初期値との乖離は確実になされる。

⑤キセノンランプ照射試験

1,200時間（3年暴露相当）を採用した。国際基準（ISOスタンダード）に準拠している。表面の変状が大きく、100%単純に促進されたとは言にくい面もある。初期値との乖離は確実になされる。

6, 7 着氷防止性機能に関する既存製品との比較

開発候補品と既存製品個々の平均的データを対比して示す。

	初期			劣化後		
	開発品	CR	OL	開発品	CR	OL
撥水性	◎	△	×	○	×	×
着氷付着力	0.2-1.2	2.2-2.5	2.5<	1.2-1.6	2.5<	2.5<
水滴滑落角	15-20	30-35	40-45	25-30	40-50	60-70
水接触角	105-110	85-95	80-90	100-105	35-40	50-60
氷柱衝撃剥離角	45	90	120	90	120	120
着氷性 (%) (着氷面積)	20>	20~40	20~40	20>	40<	40<
	(試験片 70×150×0.8mm t)					
着氷量 (g) (落下後残存量)	0.05>	0.5~0.8	1.0<	—	—	—
	(試験片 70×150×0.8mm t)					

備考：CR——塩化ゴム塗膜、OL——油性（アルキド）塗膜

難着氷性，易着氷除去性の代表特性に関して開発品と既存製品を比較した場合、①高撥水性、②低着氷付着力、③高水接触角、④小水滴滑落角、⑤小氷柱衝撃剥離角、⑥小着氷面積、⑦少着氷量などの点で開発品が卓越しており、既存製品塗膜に比較してその差は明確である。

6, 8 代表特性間の相関性の検討

開発品、既存塗料及び各種素材（金属、プラスチック）の代表特性データ間の相関性を検討した。

初期データの比較

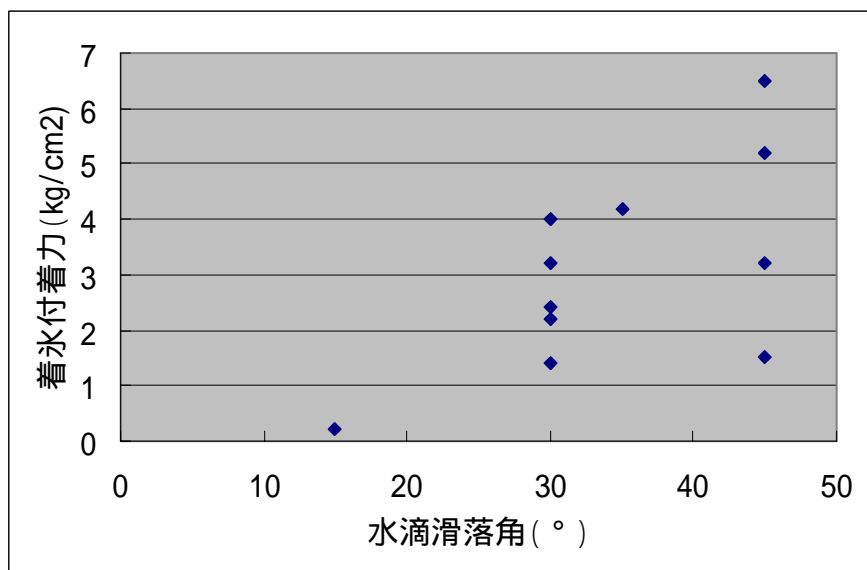
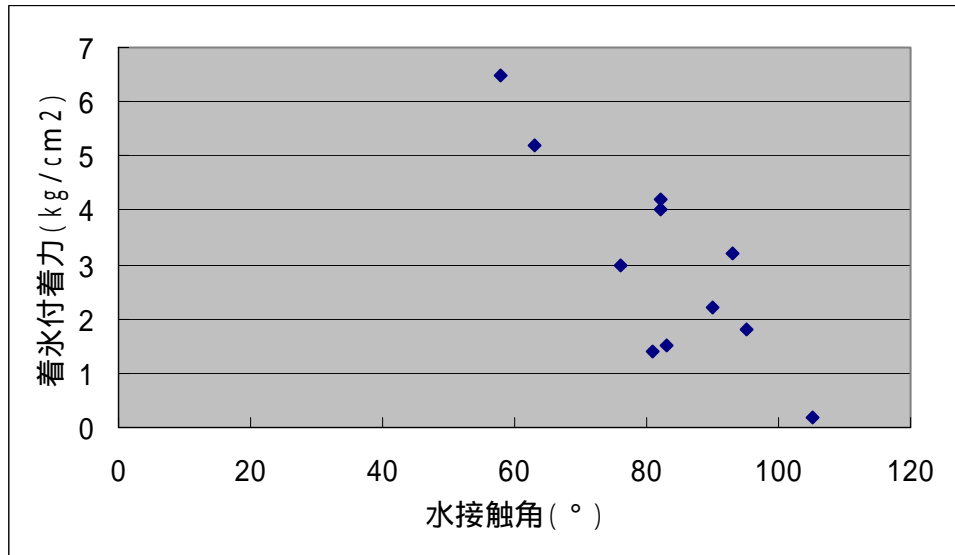
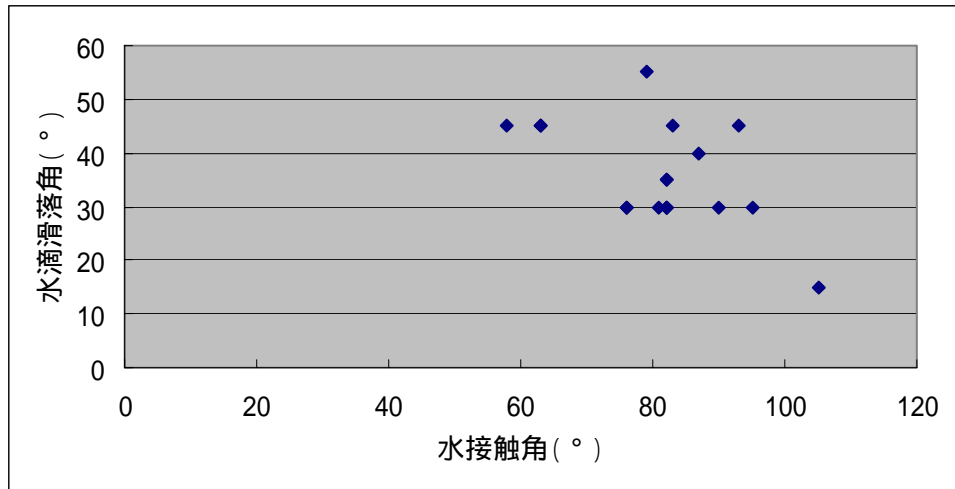
種 類	水接触角(°)	水滴滑落角(°)	着氷付着力(kg/c m ²)
開発候補品No.159	105	15	0.2
塩化ゴム塗料	90	30	2.2
油性塗料	87	40	> 2.5
塩化ビニル塗料	82	35	> 2.5
変性エポキシ塗料	79	55	> 2.5
フッ素樹脂塗料	95	30	1.8
ポリウレタン塗料	82	35	4.2*
亜鉛めっき	81	30	1.4
SUS	93	45	3.2*
アルミニウム	82	30	2.4*
銅	83	45	1.5
軟鋼板	58	45	6.5*
高質塩化ビニル	63	45	5.2*
ポリエチレン	76	30	3.2*
ABS樹脂	82	30	4.0*

*公表データ

一部公表データも参照し、水接触角と水滴転落角、水接触角と着氷付着力、及び水滴滑落角と着氷付着力の関係を以下のように散布図で示す。

水接触角と水滴転落角の関係においては、水接触角が大きくなると緩やかではあるが、水滴転落角が減少する傾向が認められる。更に水接触角と着氷付着力の関係においては、水接触角が大きくなるとかなりの高い正相関性が認められる。更に水滴滑落角と着氷付着力の関係においても緩やかではあるが相関性が認められる。

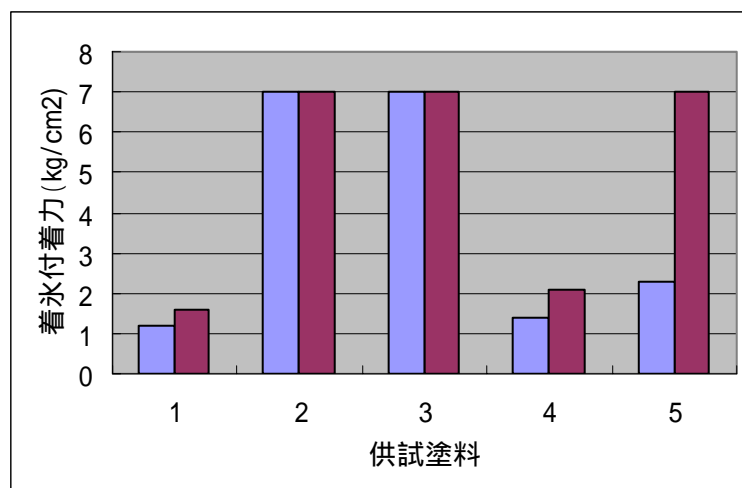
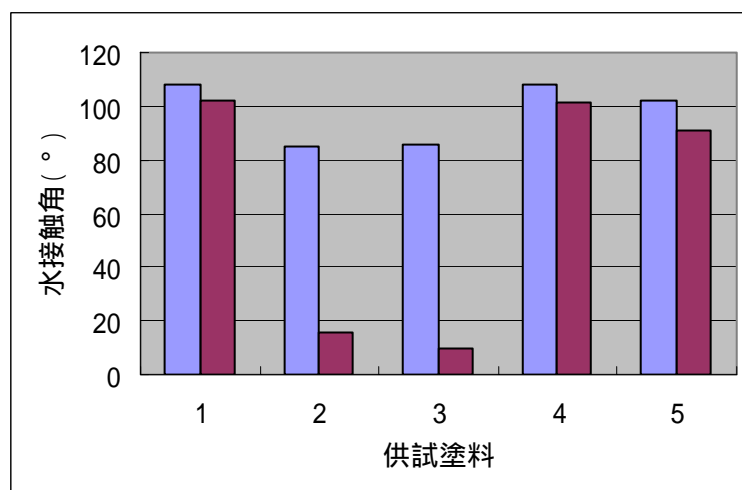
既存塗料の着氷付着力はプッシュプルスケールの50Nの制約で2.5kg/c m²以上であるが、剥離界面が凝集破壊であるため3～5kg/c m²が実数であろうと予想され、これらを含めても正相関性は維持されると思われる。



6, 9 耐久寿命 3 年の検証

開発目標値に設定した「耐久寿命 3 年」を検証するため、促進耐候性試験としてキセノンアーク照射試験を行った。促進倍率を 1 年 / 400 h r として、1, 200 h r 照射により劣化させ、初期値との対比により耐久寿命を推定した。

供 試 塗 料	着氷付着力(kg/cm ²)		水接触角(°)	
	初期値	劣化値	初期値	劣化値
1、シリコンゴム系開発品	1.2	1.6	108	102
2、油性塗料	>7	>7	85	54
3、塩化ゴム系塗料	>7	>7	86	39
4、PTTFE溶射板	1.4	2.1	108	101
5、基材樹脂	2.3	>7	102	82



耐久寿命の目標の一つに設定した水接触角が、1,400hr後も100度を維持しているおり、PTFE溶射（テフロン加工）と遜色がないこと、また着氷付着力も1.6kg/cm²と低い値を示していること、更に撥水性も良好であることより、3年という耐久寿命がラボベースで検証ができたと判断する。

6, 10 塗り重ね再塗装性の検討

開発目標の一つとして「塗り重ね再塗装性が可能」を設定した。塗り重ねは広義の補修性であるので、①着氷塗料相互の塗り重ね性②既存塗膜への塗り重ね性、③着氷塗料への塗り重ね性、が想定される。一方基材樹脂そのものが表面自由エネルギー（表面の分子を内部に引きつける力）が低いため、各種の液体に濡れにくい特性を有するため塗り重ね性に欠ける傾向あり、そのため再確認も兼ねて実験により確認した。

(1) 着氷防止塗料相互の塗り重ね性

着氷防止塗料相互の付着性は良否のバラツキが大きく、剥がれの危険性を考慮した場合、塗装システム対応が必要である。その方法として表面処理（サンダー処理、水洗、シンナー拭きなど）を行い、変性エポキシ樹脂塗料をシーラーコートとして適用することが最適である。

(2) 着氷塗料への既存塗料の塗り重ね性

着氷防止塗料には、塩化ゴム系塗料、及び変性エポキシ樹脂塗料が良好な付着性を有する。但し、変性エポキシ樹脂塗料は適切な上塗り塗装を行うことが一般的である。

(3) 既存塗料への着氷防止塗料の塗り重ね性

油性系塗料、塩化ゴム系塗料、変性エポキシ樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料、及びフッ素樹脂塗料に対する付着性が良好であることが確認された。従ってこれらの塗膜に対しては、適切な表面処理（水洗など）を行い直接塗装する。

但し、上記は既存対象物を想定した物であり、新設対象物には環境に対応した塗装仕様の構築が必要になる。塗膜以外に非鉄金属（アルミ、銅、SUS、亜鉛めっきなど）や高質塩化ビニルにも直接塗装可能という結果を得ているが、更なる長期間の劣化試験を行って結論を出す必要がある。

6, 1 1 ラボ試験と実地試験の相関性

海上保安庁（第一管区）の巡視船「れぶん」で実地試験を行い、着氷した場合、現地での評価方法についての記録フォーマットを作成し、フィードバックされるシステム構築を行ったが、H20年2月まで気候変動と航行条件のためか着氷という関連情報を入手できなかった。

(1) 10ヶ月後の調査

H19, 7に実施した時の撥水性の評価では、部位による影響があるものの、ラボ試験結果と同様の傾向を示していることを確認した。しかしこの時点までに着氷は認められなかった(着氷海域での運航がなかった)との報告を受けた。

(2) 13ヶ月後の調査と再塗装試験

12ヶ月後のさらに3ヶ月経過したH19, 10に追加調査と塗り重ね再塗装試験を実施した。この時点の評価は12ヶ月後のやや撥水性が消失しかかっていた部位(ブルワークトップ)がラボと同様な撥水性表面に回復していた。

上記(1)、(2)により、現地評価で唯一行える代表特性試験としての撥水性においては、ラボとの相関性があると判断された。

続いて既実地塗装部の40%ほどの面積に、最終的に絞り込んだ3種類の開発候補品を簡単な表面処理(水洗)を行って再塗装し、着氷防止性の実地評価と塗り重ね再塗装性の検証を兼ねて実施中である。

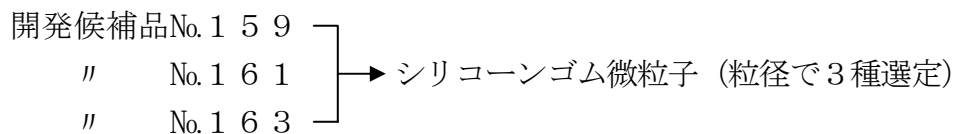
結論として、実環境下で着氷結果が得られなかったため、本開発研究の重要な要素技術の確証(着氷防止性のラボと実地との相関性)がなされていないことが課題として残された。

6, 1 2 最適組成と塗装仕様最適化の検討

☆最適組成決定までの推移

- ① 撥水性微粒子の収集と代表特性の把握のための試験
↓
- ② 撥水性微粒子の第一次選定と塗料化試験と性能試験
↓
- ③ 複数組成の抽出
↓
- ④ 複数組成による撥水性微粒子の第二次選定
↓
- ⑤ 最終選定微粒子配合による塗膜性能試験
↓

⑥ 撥水性微粒子最終選定と開発候補品の決定



（上記はランニングNo.で示した）。

<基本組成>

主 剤		硬化剤	
基材樹脂	76.4	ポリイソシアネート	100.0
微粒子	13.2	混合比率（重量比） 主剤／硬化剤＝86.8／13.2	
希釈溶剤	10.4		
計	100.0		

☆最適塗装仕様の検討（船舶を想定）

(1) 当初構築した塗装仕様

<新造船>

一次防錆	ショッププライマー塗装	ジンクリッチプライマー
↓		
第1層	下塗塗装（防食）	エポキシ樹脂系塗料
↓		
第2層	上塗塗装（着色）	ポリウレタン樹脂塗料
↓		
第3層	着氷防止塗装	着氷防止塗料

<修繕船>

素地調整	動力工具、水洗等	ディスクサンダー
↓		
補修塗装	除錆部のタッチアップ	変性エポキシ樹脂塗料
↓		
第1層	下塗塗装（防食）	変性エポキシ樹脂塗料
↓		
第2層	上塗塗装（着色）	ポリウレタン樹脂塗料
↓		
第3層	着氷防止塗装	着氷防止塗料

上記塗装仕様は標準仕様に機能性塗料（着氷防止）追加した型である。

(2) 経済性を加味した修繕船塗装仕様

本開発研究で実施した塗り重ね再塗装試験の成果を生かして以下の塗装仕様を追加・設定した。但し腐食が軽微な場合を前提条件とする。

<既存塗膜が油性、塩化ゴム、ポリウレタンの場合>

素地調整 ↓ (補修塗装) ↓ 上塗塗装	サンダー、水洗、シンナー拭き、エアブロー等で異物を除去する。 (必要に応じて既存の塗料でタッチアップする。) 着氷防止塗料を塗装する。
----------------------------------	---

<既存塗膜がビニルの場合>

ビニル塗膜への着氷防止塗料の付着性は不十分であるため、表面を水洗又はシンナー拭きを行い、 ① 変性エポキシ樹脂塗料+ポリウレタン塗料 ② 変性エポキシ樹脂塗料+塩化ゴム ③ 変性エポキシ樹脂塗料 (要色相調整) 等の塗装 (シーラーコート) でビニル塗膜をシールする。
--

6. 13 製造方法に関する所見

試作検討の段階で、撥水性の付与の要諦の一つと考えられる表面粗度 (凹凸) を付与させるため、あるいは微粒子の粒度分布という特性を生かすために、分散はグラインディングせず、高速攪拌による方法を採用した。これにより数 μ ~数十 μ の粗度が得られた。しかしながら、厳密に表面粗度と着氷防止機能の代表特性との関係についての検討は十分とはいえず、今後製品化する過程で更なる検討が不可欠であろうと思われる。一般に表面の凹凸は50~100nmとの報告もあり、この場合には特殊な分散技術の検討が必要になり今後の課題として残された。製造、特に主剤の分散に関わる試験結果の例を示す。

溶剤を含む基材樹脂764gを分散用容器に仕込み、緩やかに回転しながら微粒子132gを徐々に混入した後、希釈用溶剤104gを加え、全体が均一になったことを確認してから、回転数を1200~1600rpmで20分間攪拌し主剤を調整した。この結果より、粒子径が大きくなるにつれて粘度が低下する。これは微粒子表面を濡らす度合がその径が大きくなると低下するため、粒子自身の吸油量に関係する。性状はいずれも揺変性 (チキソトロピー) を示し、良好な貯蔵安定性を示唆している。

微粒子	粒度分布	粘度 (23℃)	性状
No.9 (シリコーンゴム)	3～20 μm	2500 cps	揺変性
No.19 (シリコーンゴム)	5～40 μm	2100 cps	揺変性
No.21 (シリコーンゴム)	5～100 μm	1800 cps	揺変性

☆微粒子の平均粒子径 No.9 : 5 μm

No.19 : 13 μm

No.21 : 40 μm

6, 14 開発目標の達成度

開発目標として、

- ①氷がつき難く、また剥がれ易いよう水接触角100度以上、着氷付着力1 kg / c m²以下、水滴滑落（転落）角20度以下
- ②塗膜の耐久寿命を従来品の1シーズンから3シーズンに延長する。
- ③上塗り再塗装性が可能なように塗膜の補修性を向上させる。

上記3項目を掲げた。これに対する達成状況は以下の通りである。

(1) 水接触角、着氷付着力、水滴滑落角

項目	結果	達成度
水接触角	初期：105～110度 3年相当促進劣化後：100～105度	☆☆☆☆☆
着氷付着力	初期：0.2～1.2 kg / c m ² 水浸漬2ヵ月：1.2～1.6 kg / c m ²	☆☆☆☆
水滴滑落角	初期：15～20度 水浸漬2ヵ月：25～30度	☆☆☆

(2) 耐久寿命3シーズン

評価概要	達成度
3年相当促進劣化後の水接触角が目標値の100度をクリアし、さらにこの時点の撥水性が良好であった。	☆☆☆

(3) 上塗り再塗装性

評価概要	達成度
開発候補品の上に再塗装する場合、変性エポキシ樹脂塗料をシーラーコートとして適用することが望ましい。	☆☆☆☆
既存塗膜の上に開発候補品を再塗装する場合簡単な表面清掃すれば可能となる（但し、塩化ビニル系塗膜は不可）。	

以上のように実地試験による難着氷、易着氷除去性の直接的効果の検証が未達成であったことを除けば、ラボベースでは条件付き（☆☆☆☆以下）で達成されたと思われる

6, 15 経済性の評価

経済性を評価する要素としては、材料単価のみならず耐用年数との関係を考慮することが必要である。本技術開発における耐用年数は従来品（着氷防止塗料としての市場浸透度は極めて低い）では精々1年間と見做し、開発品は3年間の目標を設定した。但し従来品で着氷防止性が期待されるものでも、1年間着氷し難く又は除氷作業が軽減されたという実績は全く公表されておらず、しかも各種研究成果を見ても塗膜での非着氷化が困難であると思われるので、真の経済性の評価が困難ではあるが、塗装に関わる直接、間接費用を算定した。

(1) 前提条件

- ①耐用年数：3年とする。
- ②対象船：就航船で比較的簡便な方法で補修塗装した場合を想定した。
- ③塗装仕様：簡単な表面処理で、中塗（シーラー）／上塗仕上げとした。
- ④塗料に関する数値

	k g 単価 (円)	塗付量 k g / m ²
塩化ゴム系塗料中塗	580	0.17
塩化ゴム系塗料上塗	620	0.15
フッ素樹脂系塗料中塗	820	0.14
フッ素樹脂系塗料上塗	3,020	0.12
変性エポキシ樹脂塗料	850	0.24
ウレタン樹脂塗料中塗	820	0.14
ウレタン樹脂塗料上塗	1,180	0.12
着氷防止塗料開発品	10,000	0.12

⑤清浄費：200円 / m²

⑥塗装費：300円 / m²

上記開発品の塗料単価は当初15,000円 / k gを設定したが、フッ素系塗料の最近の価格の実情に鑑み、10,000円 / k gを努力目標として再設定した。また既存塗料単価、清浄費、塗装費は建設物価表を参考にし、造船業界の価格体系になるよう全て50%レスで示した。

また就航船は1年毎に入渠する官船とし、比較的著しい腐食が散見されないことを前提に、除錆作業と錆び止め塗装を省略して、水洗やシンナー拭きなどの簡単な表面処理後中塗よりスタートすることをモデルとした。

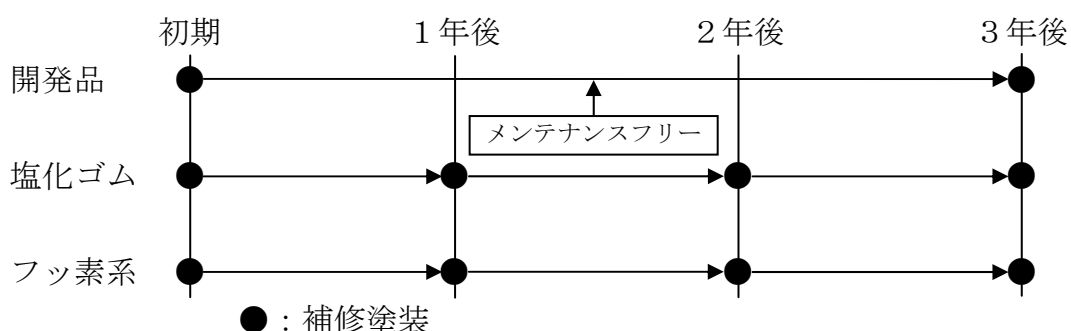
(2) 塗装仕様

	開発品	塩化ゴム系	フッ素系
清 浄	水洗やシンナー拭きで異物（油分、水分、汚染）を除去する		
中塗－1	変性エポキシ	塩化ゴム中塗	フッ素中塗
中塗－2	ウレタン中塗		
上塗－1	ウレタン上塗	塩化ゴム上塗	フッ素上塗
上塗－2	着氷防止塗料		

上記着氷防止塗料開発品については、ラボテストでは塩化ゴム系塗料への直接塗装、またウレタン中塗も不要という確証データを得ているが、ここでは基本仕様で示した。フッ素系は既存品で最も着氷防止性が期待されるため採用した。

(3) 補修塗装のスケジュール

開発品は初期塗装より3年間耐用を想定しており、以下のスケジュールとなる。



(4) 算定結果（円／㎡）

	開発品	塩化ゴム系	フッ素系
清浄費	200	600 (200×3)	600 (200×3)
塗装費	300	900 (300×3)	900 (300×3)
塗料代	1,660	576 (192×3)	1,431 (477×3)
合 計	2,160	2,076	2,931

上記のように、既存品で着氷防止性が期待されるフッ素系より合計額は低く、また最も一般的な塩化ゴム系に比較しても4%高くなる程度である。

(5) 試験データとの関連性

次にラボデータを経済性に関連付ける検討結果を示す。船舶を対象として本課題を考える場合、除氷は乗員による航海中での作業になるため、一般的には費用の発生は具現化しないが、得られた試験データより開発品を塩化ゴム系塗

料と比較した場合、初期着氷面積率は1／8、着氷付着力は1／5、着氷残存量は1／10という結果が得られている。これより着氷しても簡便に除氷できることが容易に推測できる。

(財)海上労働科学研究所の「寒冷漁場における労働科学的調査(S50年)」によると、船体着氷による除氷はエネルギー消費の大きい作業であるとともに、除氷作業が行われない場合でも、漁具、漁労設備の結氷により付随作業の増加、発生をもたらし、作業強度の増大、延長が見られるという指摘がある。

このような状況より、上記易着氷除去性に関わるデータを加味すれば、過酷労働、不安全作業の軽減、さらにエネルギー消費の削減など、間接的経済性の向上は明確であり、寒冷地域での船舶や諸施設への本技術の導入は気候変動(温暖化)という状況下でも期待できる。

(6) まとめ

経済性の評価に関して、塗装(初期及び補修時)に関わる費用はシミュレーションが、ラボデータ(易着氷除去性)も加味すれば更に経済的効果を加えることが可能と思われる。しかしながら除氷は航海中の乗員による作業であり経費の算定が困難であることが問題である。特に実地試験による成果が不明確であったため、かかる易着氷除去性に関わる経済的要素を抽出し、積み上げることの妥当性を見出せなかったことが課題として残された。尚経済性に関わることの一例として、漁船での除氷作業は「3時間の航海で2時間を当てている」という情報を得ている。

7、全体のまとめ

平成18年～19年の2年間にわたり実施した本技術開発事業の全体像を要約して示す。

7、1 開発目的

長期耐久性に富み、しかも着氷防止に有効な機能（高撥水性）をも兼ね備えた新規塗料用樹脂を基材とする実用性に優れた着氷防止塗料を開発し、これを塗装することにより、寒冷地における船舶への着氷による問題、とりわけ不安全作業（除氷）の軽減と航海の安全性への寄与を目的として本技術開発を実施した。

7、2 開発目標

本技術開発においては、「難着氷性、易着氷除去性」、「長期耐久寿命」及び「補修性」の三つの観点より開発目標を設定した。

(1) 難着氷性、易着氷除去性の向上。

塗膜表面に水膜が形成しにくい撥水性を示す代表特性値として、

①水接触角が100度以上

②着氷付着力が1kgf/cm²以下

③水滴滑落（転落）角が20度以下

を満足すること。

(2) 耐久寿命の延長。

耐久寿命を従来品の1シーズンから3シーズンに延ばすこと。

(3) 補修性の向上。

上塗り再塗装性が可能なように補修性を向上させること。

7、3 開発のプロセス

本技術開発においては、概念設計→樹脂性状試験⇔塗料化試験⇔実地試験⇔塗膜性能試験→総合評価のフローで実施した。

(1) 概念設計

概念設計では、製品のニーズを明確化し、その適用条件に合致した実体設計を行い公表技術情報も参考にして設計解を求めるスキームを構築した。

(2) 樹脂性状試験

樹脂性状試験については、基材としての複数のフッ素—シリコン複合樹脂の性状値（可使時間、乾燥時間、硬度等）の調整を行い、絞り込んだ最適樹脂系に撥水性微粒子を配合し、塗膜物性の事前評価を行った。

(3) 塗料化試験

塗料化試験においては、性状調整したフッ素—シリコーン複合樹脂に複数の撥水性微粒子を配合して塗料化し、水接触角、水滴滑落(転落)角、及び着氷付着力の基本的物性試験データを収集し、最適撥水性微粒子の選定に資した。

(4) 実地試験

実地試験では、北海道地区で航海する官船(海上保安庁、巡視船)、及び北洋で操業する漁船での実船塗装試験を行った。

(5) 塗膜性能試験

塗膜性能試験では、絞り込んだ撥水性微粒子を配合した塗料により、水接触角、水滴滑落(転落)角、及び着氷付着力の測定はもとより、着氷面積率、着氷重量、氷柱衝撃剥離角等も追加して評価の多面化を図り、更に塗り重ね再塗装性試験による補修性と3シーズンに延長する耐久性の検証を行なった。

7, 4 開発の成果

(1) 最適塗料組成の確立

3シーズンの耐用寿命を考慮し、バインダーとして、高撥水性且つ耐久性に卓越した画期的な新規塗料用樹脂である「フッ素—シリコーン複合系樹脂」をイソシアネートで架橋させる系とし、これに撥水性微粒子を配合して着氷防止機能(撥水性)をより確実なものにした。撥水性微粒子としては「シリコーンゴム系」が最適であった。開発塗料の概要を以下に示す。

- ①主剤(基材樹脂+微粒子+溶媒)と硬化剤(イソシアート溶液)の2液型
- ②2液混合後塗装し、常温で2時間以内で硬化乾燥する。
- ③色相は半透明で、着色は下地の色で決まる。
- ④性状は一般に普及しているポリウレタン系塗料と同等である。

(2) 開発目標の達成度

本開発により得られた「シリコーンゴム系微粒子含有フッ素—シリコーン複合樹脂系着氷防止塗料」の開発目標に対する達成度を以下に示す。

①難着氷性、易着氷除去性の向上

項目	測定結果	達成度
水接触角	初期： 105～110度	☆☆☆☆☆
	3年相当促進劣化後： 100～105度	
	塩化ゴム(初期)： 35～40度(比較)	
着氷付着力	初期： 0.2～1.2 kg/c㎡	☆☆☆☆
	水浸漬2ヵ月後： 1.2～1.6 kg/c㎡	
	塩化ゴム(初期)： 2.5 kg/c㎡ < (比較)	

水滴滑落角	初期： 15～20度	☆☆☆
	水浸漬2ヵ月後： 25～30度	
	塩化ゴム（初期）： 30～35度（比較）	

注：3年相当促進劣化：キセノンアークを1,200時間照射

②耐久寿命の延長

評価概要	達成度
3年相当の促進劣化後の水接触角が目標値の100度をクリアした。	☆☆☆

③補修性の向上。

評価概要	達成度
<p>◎ケースー1：既存塗膜に開発品を塗り重ねる場合 既存塗膜の表面の異物（水分、油脂、ダスト、さび）を除去後、そのまま塗り重ねることが可能である。 既存塗膜：塩化ゴム、油性、ポリウレタン等。</p> <p>◎ケースー2：開発品に開発品を塗り重ねる場合 開発品塗膜の表面の異物（同上）を除去後、変性エポキシ樹脂塗料を一層塗装することが望ましい</p>	☆☆☆☆

<備考> ☆☆☆☆☆：達成度が非常に高い

☆☆☆☆：達成度が高い

☆☆☆：達成度が普通

総合評価として、

- ★**難着氷性、易着氷除去性**に関わる代表特性値は従来品（塩化ゴム系塗料）に比較しその差が大きく、高いレベルで目標が達成された。
- ★**耐久寿命**は3年相当の促進劣化後の水接触角が目標の100度をクリアしたが、3年の実環境暴露データとの対比により、信頼性をより高めることが必要であると思われる。
- ★**補修性**に関しては、既存船の場合、簡単な表面処理で上塗り再塗装できることが確認され高レベルで目標が達成された。

(3) 実地試験による品質評価

実地試験は当初の計画に従い官船と漁船で実施した。

①官船

平成18年9月、函館どっくで第一管区海上保安本部の巡視船「れぶん」のブルワーク、砲座に塗装し、平成19年10月稚内で中間チェックと塗り重ね再塗装を実施した。しかし、平成20年2月末まで冬場を2シーズンを経過したが、気候変動（温暖化）、あるいは航海条件のためか着氷する状況に

至っていない。しかし、本船で実施した同じ塗装仕様による実験室データは良好な撥水性が維持されていることを確認済みである。尚本船は平成20年9月に再入渠し試験塗装部の原状復帰作業が予想されるが、試験継続の可否を打診する予定である。

②漁船

★釧路機船漁業協同組合、底引き網漁船

試験方案を事前に調整し、塗装計画(平成18年10月～平成19年2月)が承認されたが、本船の事情により急遽船体塗装工事が中止された。

★根室港拠点、北洋操業漁船、第65参光丸(29トン)

平成20年1月に塗装された。その結果、「着氷した」、「既存塗膜との除氷性の差は判別し難い」という情報を得た。小型船のため既存塗膜と試験対象部位の取り合いが困難な面もあるが、船主の当該製品への関心が高いため、今後も試験部位や面積の決め方を工夫し、易着氷除去性の効果を明確化する。

7, 5 今後の予定

今後は商品化を行うものとし、実地試験を継続して実施していきたい。

また、船舶以外の用途も考えられるので、商品化においては、船・陸両面にて進めていくものとする。



「この報告書は競艇の交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました」

社団法人 日本舶用工業会
〒105-0001 東京都港区虎ノ門 1-15-16 海洋船舶ビル
電 話 03-3502-2041
F A X 03-3591-2206
<http://www.jsmea.or.jp>