

北極海の安全航行 多様な課題とその取り組みに向けて

尾関俊浩

北海道教育大学

GRENE北極気候変動研究事業
特別セミナー:北極海航路の利用実現に向けて
東京海洋大学楽水会館 2014. 11.17

代講 北川弘光、海洋政策研究財団

北極海航路の問題点

1. 法的・制度的枠組み

- 1) 領土・領海問題
- 2) Polar Codeと関係国際法
- 3) 既存国際条約の妥当性
- 4) 北極評議会: Actorとしての日本の権利と責務
- 5) 管轄権所有国国内法の国際法上論拠

2. 北極圏の自然環境・生態系

- 1) 変化の予測と保全: 時間・海域スケール
- 2) 資源開発(水産・漁業活動、先住民問題を含む)との調和
- 3) データ・ベース: 局所問題と全球問題

3. 運航

- 1) 航行問題: 技術的問題と操船技術・通信確保
- 2) 通航料・砕氷船支援
- 3) 汚染対策・賠償責任
- 4) 船員教育・訓練
- 5) 海洋保護区: 通年、季節規制

北極海航行に関わる主要国際条約・各国法令・業界規則

IMO' Polar Code (**ice regime, life boat, etc**)

IMO's Mandatory requirements for the EEDI and
on the SEEMP

Arctic Maritime Safety Information Service (IMO's
COMSAR, IHO, WMO)

SOLAS Convention (SAR)/ICAO(Annex 12)

STCW: DE54/13, Sec. B-V/g 2010 Manila Conf.

SOPEP(Shipboard Oil Pollution Emergency Plan)

MSC's Guide for cold water survival

(MSC.1/Circ.1185), ISA's, IAAT Guides

IACS's Unified Requirements

Classification Society's Ice Classes, Winterization
Notations, etc.

ILO169 2006 (for crew); port state control

National Regulations and Guides of Arctic States

Russian Northern Sea Route Regulations

Canadian NORDREC, Zone/Date System, etc.

背景事情への対処

氷況変動

- 自然科学 市場水準での長・中・短期氷況予測
エリア・時間スケール
- 工学 運航性能向上(船型・推進系・排気・強度)
リモセン画像の解読・通信システム
EEDI, ECDISへの対応・乗員問題

氷況依存の季節運航

- 海運市場 予測至難な変動市場, Ice Class, 諸経費
- 関係法規 一般国際法(IMO Polar Code)
ACガイダンス・EC指令等; 保険
沿岸国国内法
EEZの環境保全依拠拡大解釈
- ナショナリズムの胎動 国際関係支出の節減
安全保障対策強化
- 環境保全 船舶運航影響 地球科学的影響
海洋生態への影響
先住民社会への影響
- SAR完備と保険 救難設備・サルベージ・賠償基金

航行事情：船舶運航の是非

地球環境問題：棚上げ

先住民対策：暫定的措置（同化策）

氷況予測と最適航法

週・日・時間単位以前での情報提供（航行船舶からの情報利用）

氷況・海流・波浪・風・降雪・霧・気温情報

漂流冰山・着氷雪警戒発令

工学的問題 船舶航行安全性・環境保護と採算性の調和

氷荷重・sea chest

ECDIS/電子海図不備の矛盾克服(AIS/GPS)

着氷雪対策設計・防除方策

寒冷海域航行マニュアルの作成

船員教育：寒冷海域・温暖化影響の理解

氷海航法：教育と訓練

シミュレータ

実海域訓練：汚染・着氷対策

環境生理学 船員・マスターレベルでの理解

極域順応性適正判断/発症検知

環境問題

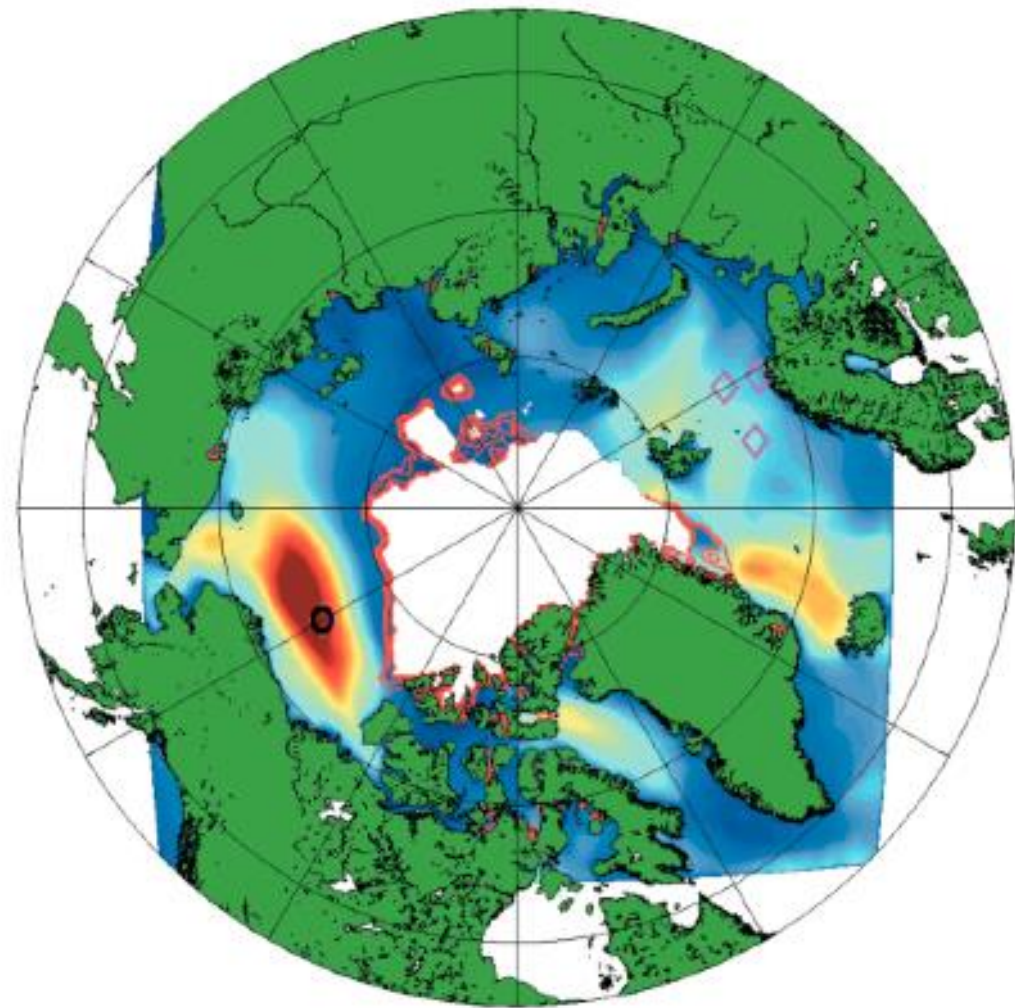
排出・汚染・環境外来種・生態系対策

微量持続型汚染対策：先住民の伝統的生活



波浪発達

Highest Wave Height Map in September, 2012



Wave Height, m

(NASA,2012)

海水着氷研究は至難の課題

影響因子が多くかつ複雑:多数の計測データの集積・分析が必須

着氷海域では、周辺条件が異なる累積結果を取得:因子分析は困難
分析には同一船舶での無着氷期間での海水打ち込み計測が必要

自由な運航が許される**研究船の自由な利用**が不可欠:巨額な経費

- 理論研究:単純形状物体の2次元問題
- 数値計算:比較的単純な形状物体に対する簡易化した境界条件での計算
- 模型実験研究:実験施設の制約とWeber数が問題

基礎研究と具体的な着氷防除対策とのギャップが極めて大きな課題

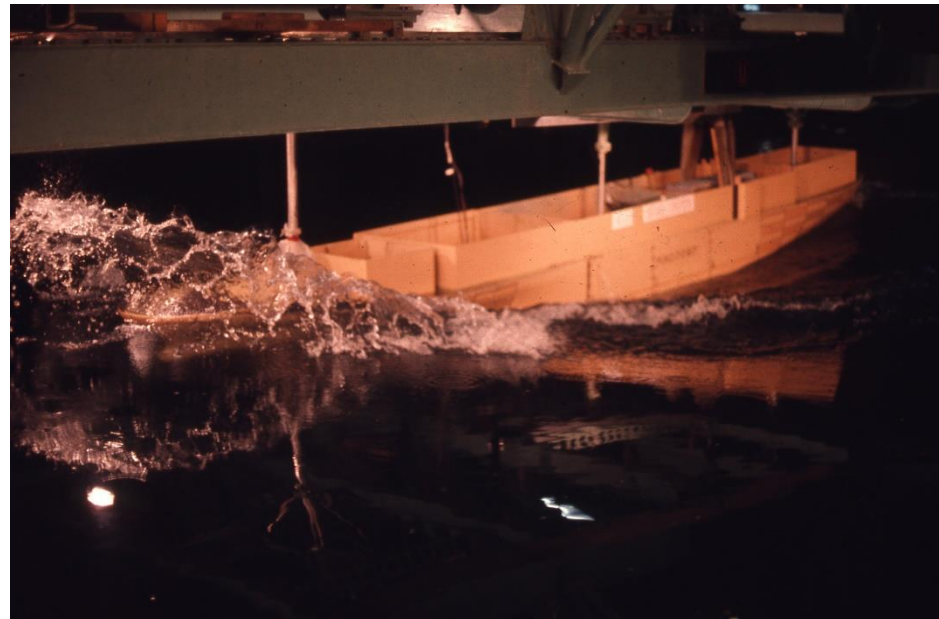
- 着氷防止対象物毎の対策研究
- 既存研究成果を組み込んでの船種毎の着氷危険指標の作成

USCG Ship in Rough Seas



(By courtesy of USCG)

高速コンテナー模型の波浪中試験例



実船・模型船でのWeber数の相違が見られる

Weber数 : We

$$We = \rho V^2 \alpha / \sigma$$

ρ : 水粒子密度(kg/m³)

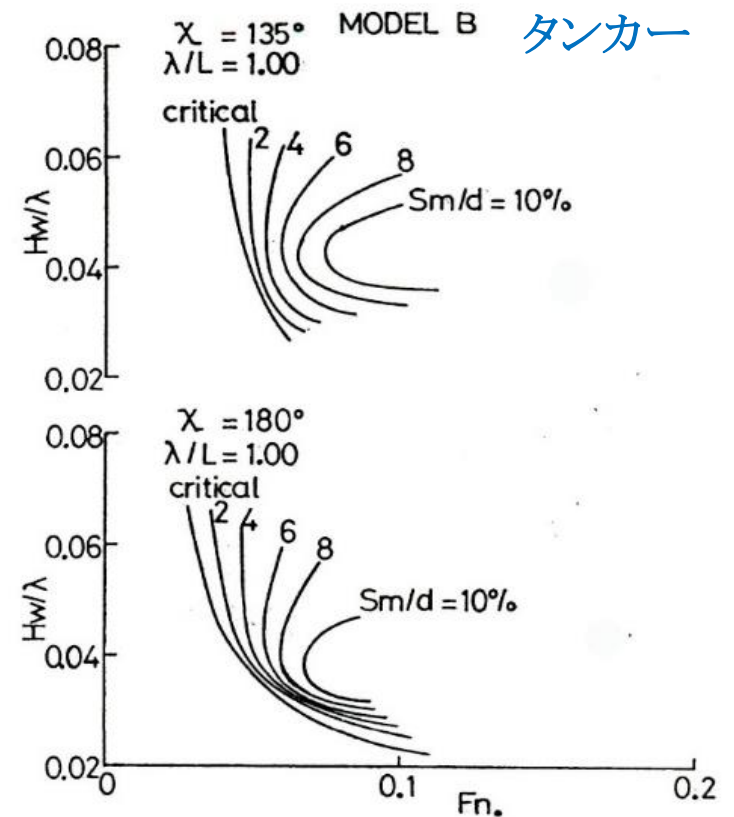
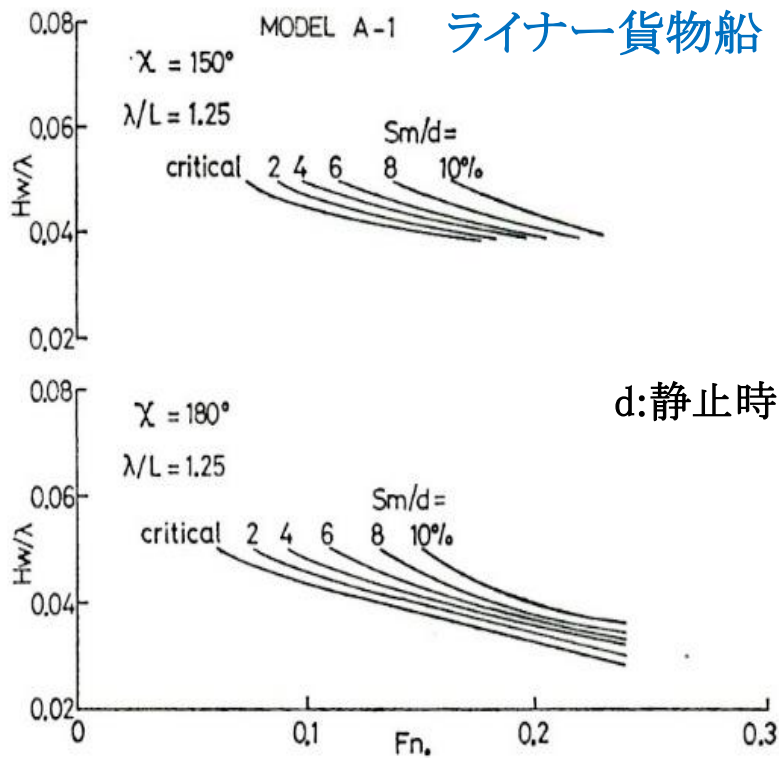
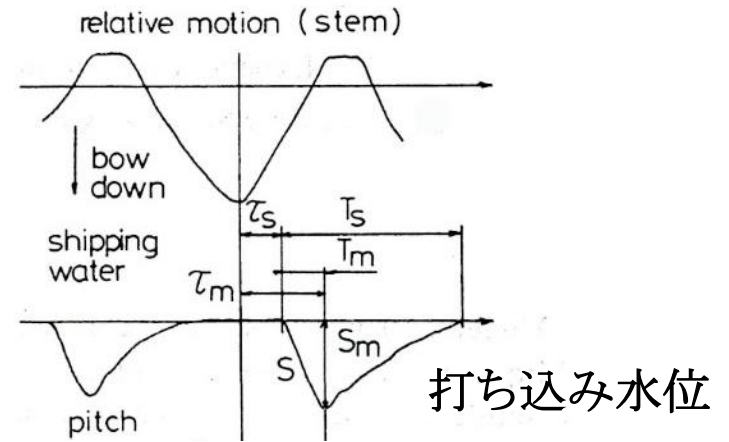
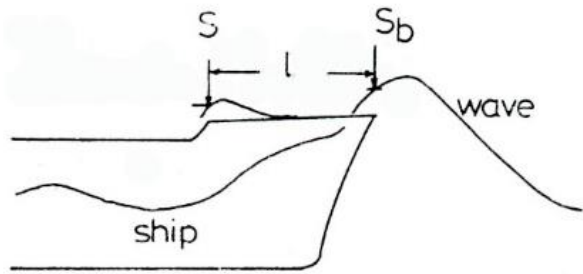
V : 水粒子速度(m/s)

α : 特性長(粒子径)(m)

σ : 表面張力(N/m)



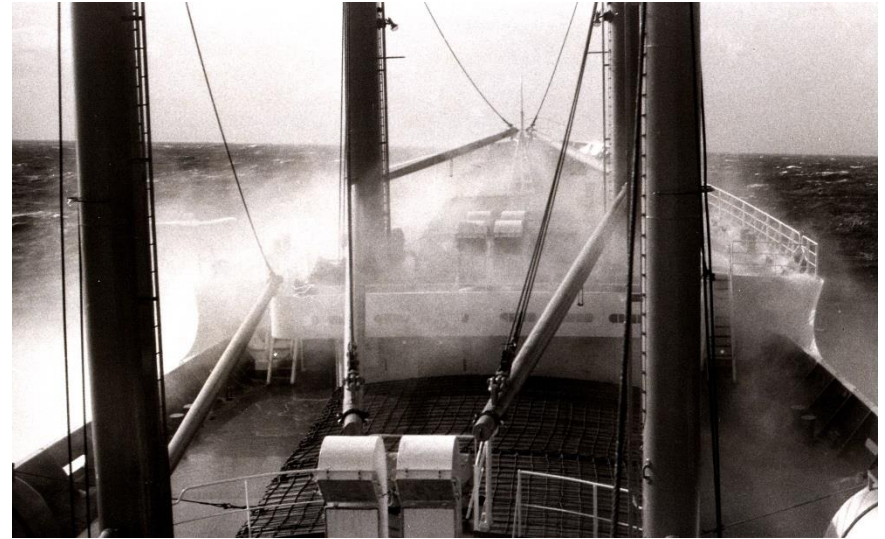
容量型水位計による打ち込み水量の計測(無風状態)



荒海中航行船舶への海水打ち込みと飛沫生成



**MS Manhattan-maru,
November, 1967 in the
North Pacific Ocean**



海水飛沫型打ち込みの主要因子

- 相対風速
- 船首加速度 (鉛直・水平成分)
- 船首フレア



急速に発達する海水飛沫着氷

V/L SPEED 10 TO 12 KNTS
TEMP -18 °C, WIND SP 25KTS



In the Barents Sea, October, 2011
(by courtesy of DNV)

10 HOURS LATER !!!!



In the Bering Sea, 2012 (by courtesy of USCG)

White caps in the Canadian Water



(by courtesy of TC)

船舶着氷研究アプローチ

船体着氷：船体への海水打ち込み＋白波飛沫＋降雪
＋大気着氷雪(航海計器等)

船体着氷影響因子

気温・波浪・風速/風向・雪・霧

船速・船型・船首周辺水線上形状・船首周辺乾舷・甲板状
況・船舶運動特性・船体周りの流れ場(気体)

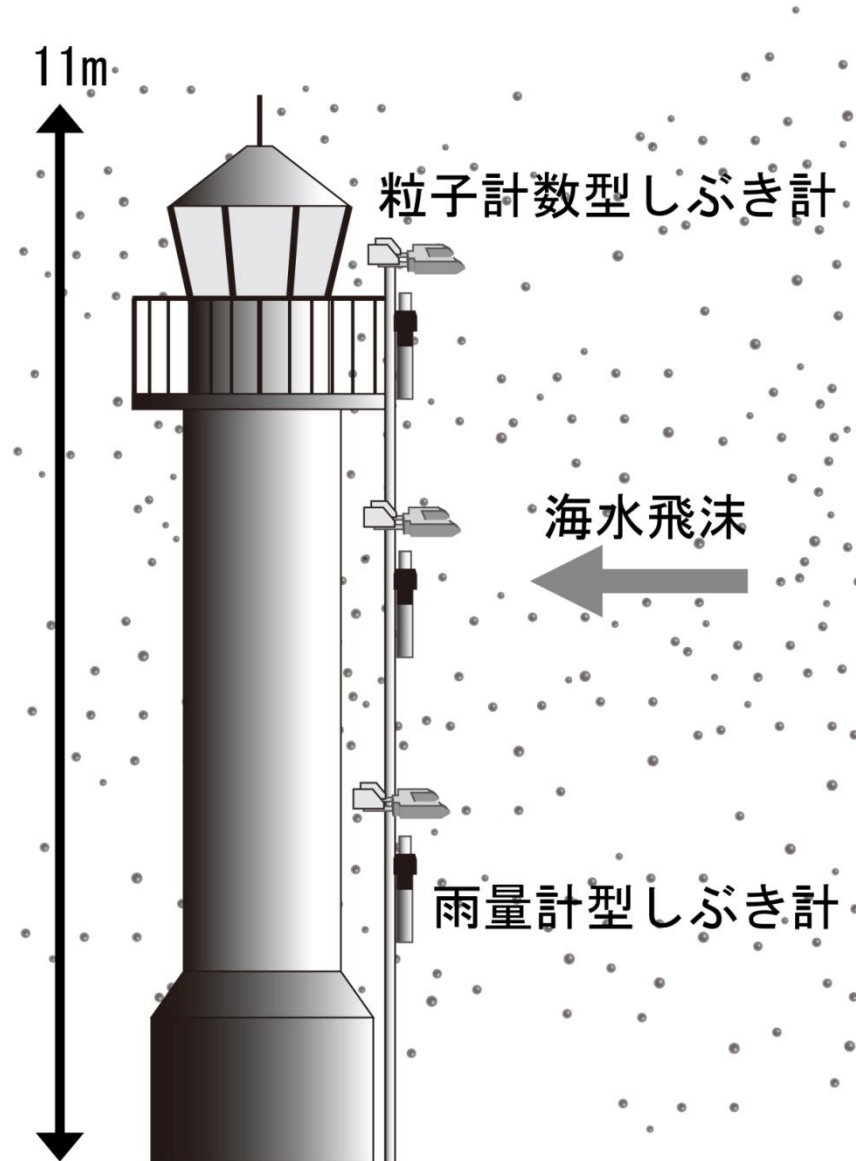
↓
着氷予防対象物の特定が必要
船体着氷は個々の船舶固有特性

→ 類型船舶からの予測

- ・着氷要因となる船体海水飛沫の発生様態 ＋ 白波起因の飛沫
 - ・飛沫の様態：1次飛沫と2次飛沫
 - ・飛沫運動力学(熱力学的考察)
 - ・海水飛沫着氷 ＋ 降雪
 - ・着氷除去対策・防止/軽減対策

海水飛沫の計測機器

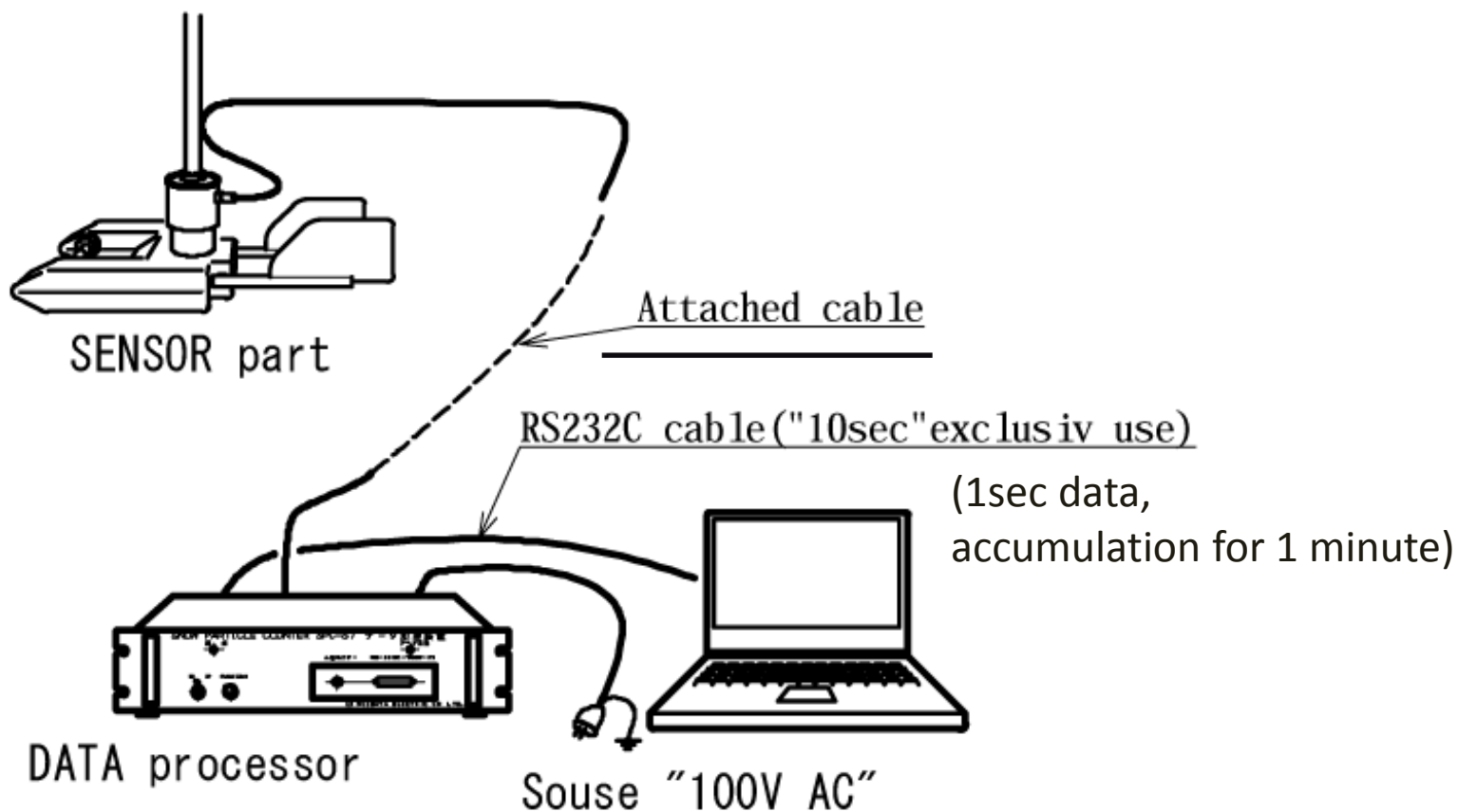
基本的には灯台も船舶も同様



船体への打ち込み海水飛沫の計測方法開発

飛雪計の応用: 雪の粒径と量の計測

計測システムの概要 (SPC-S7S)



SPCシステムの問題点

重力場での
水滴サイズと
模式的形状



直径2mm以下



2mm - 3mm

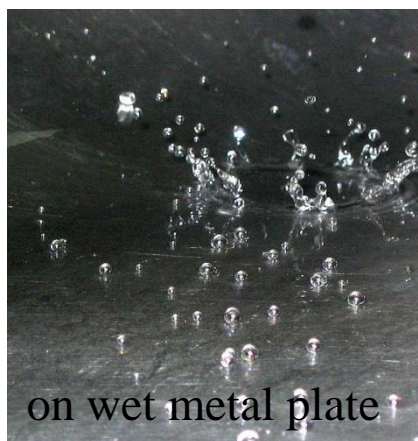
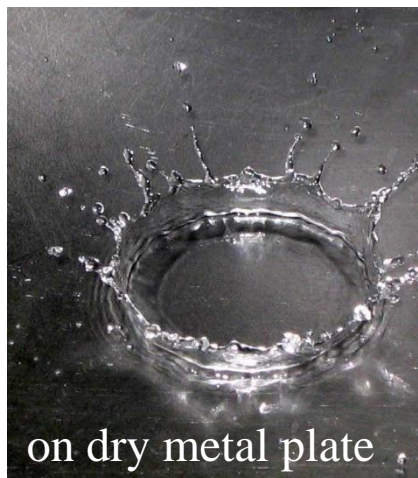


5mm以下



5mm以上で分裂

2次飛沫の問題
(甲板上機器の影響)



SPC自体の問題点

- 取り付け位置の制約
- 耐風圧・打ち込み水圧SPCの限界
- 雨滴と海水飛沫の分離
(ほぼ塩分濃度測定で解決)
- 分可能: 霧 - 水塊
- 自体の着氷
- 船橋による上昇(下降)気流
- 船体振動影響
- 風向変動応答
- ユニット価格

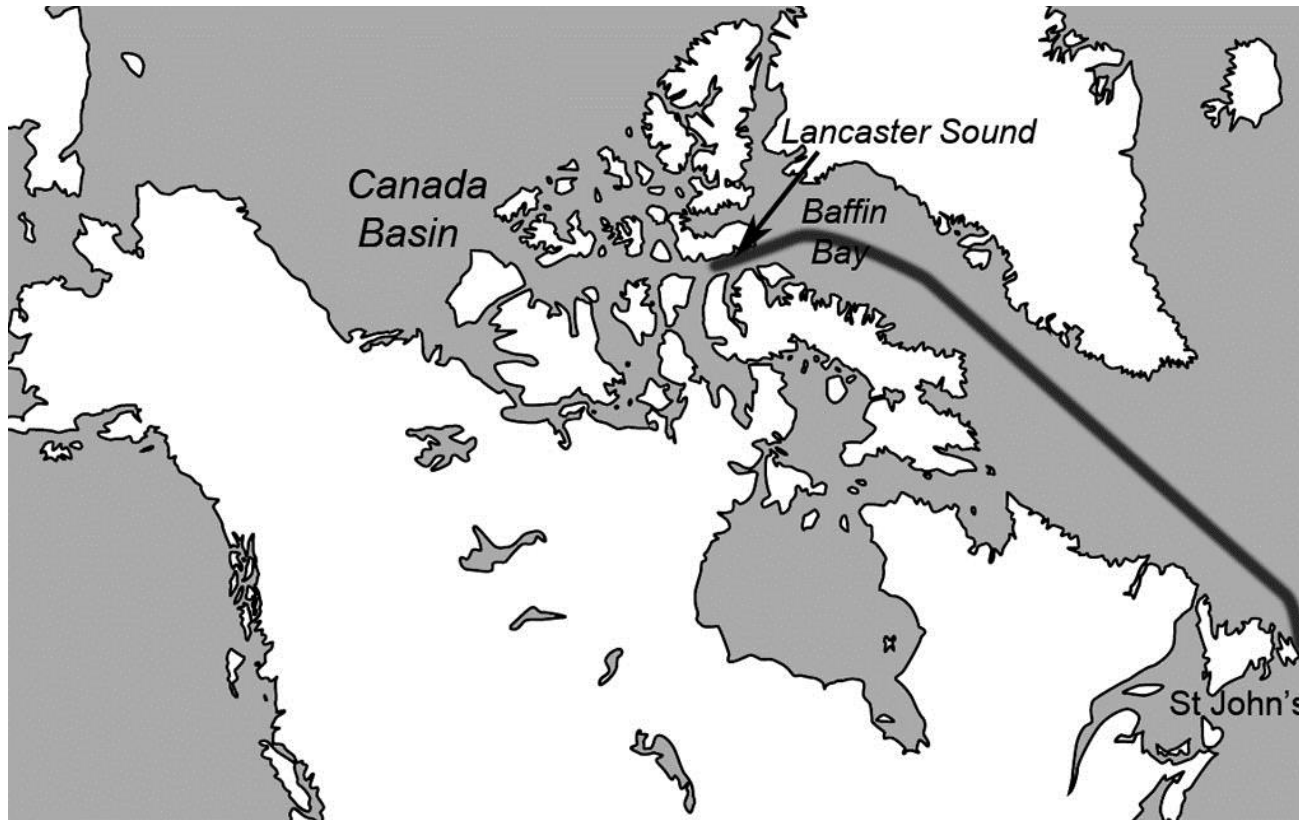
実船計測例

CCGS Louis S. St-Laurent

SPC・カメラ・加速度計配置図



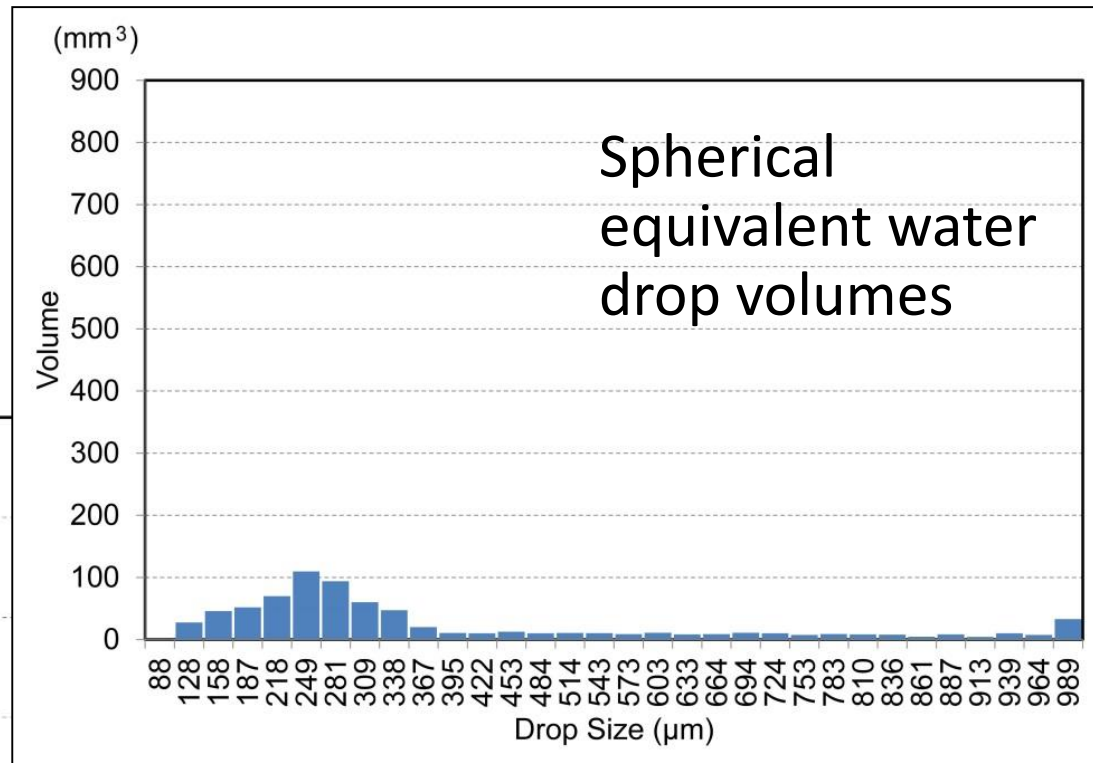
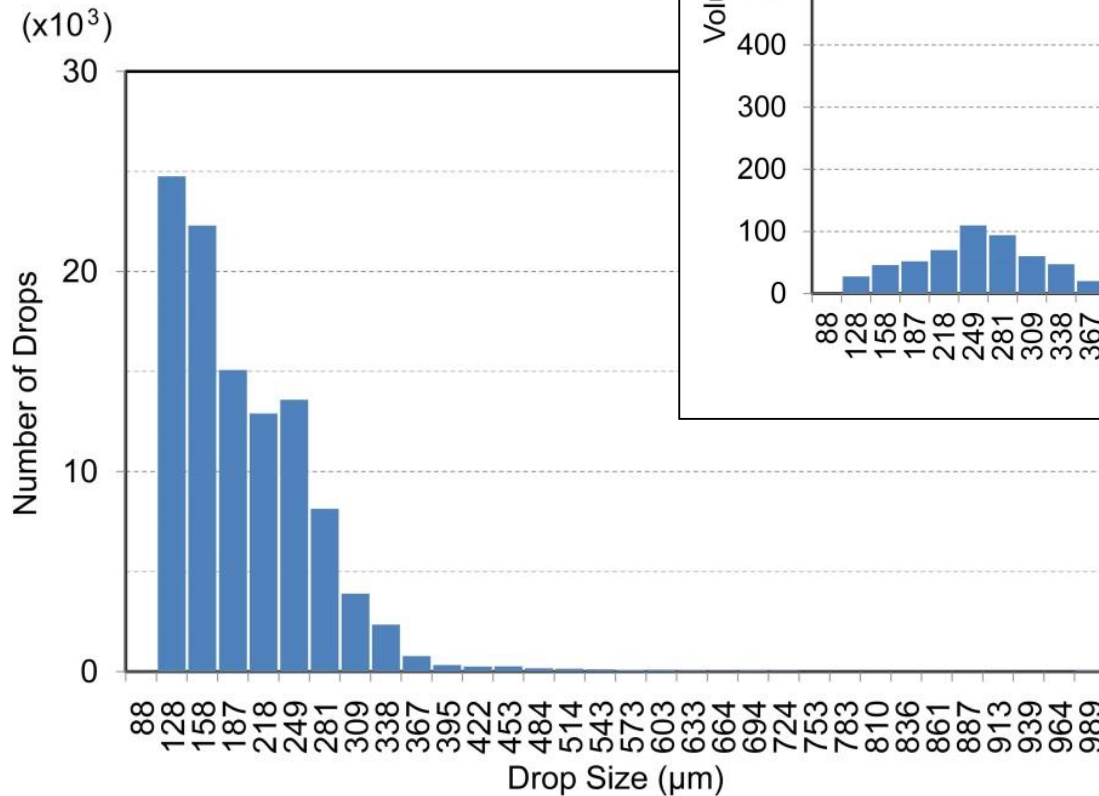
Observation Route



Air temperature and sea temperature were almost above 0 °C. The purpose of this observation was to obtain the relationship between pitching and rolling of the ship and spray generation.

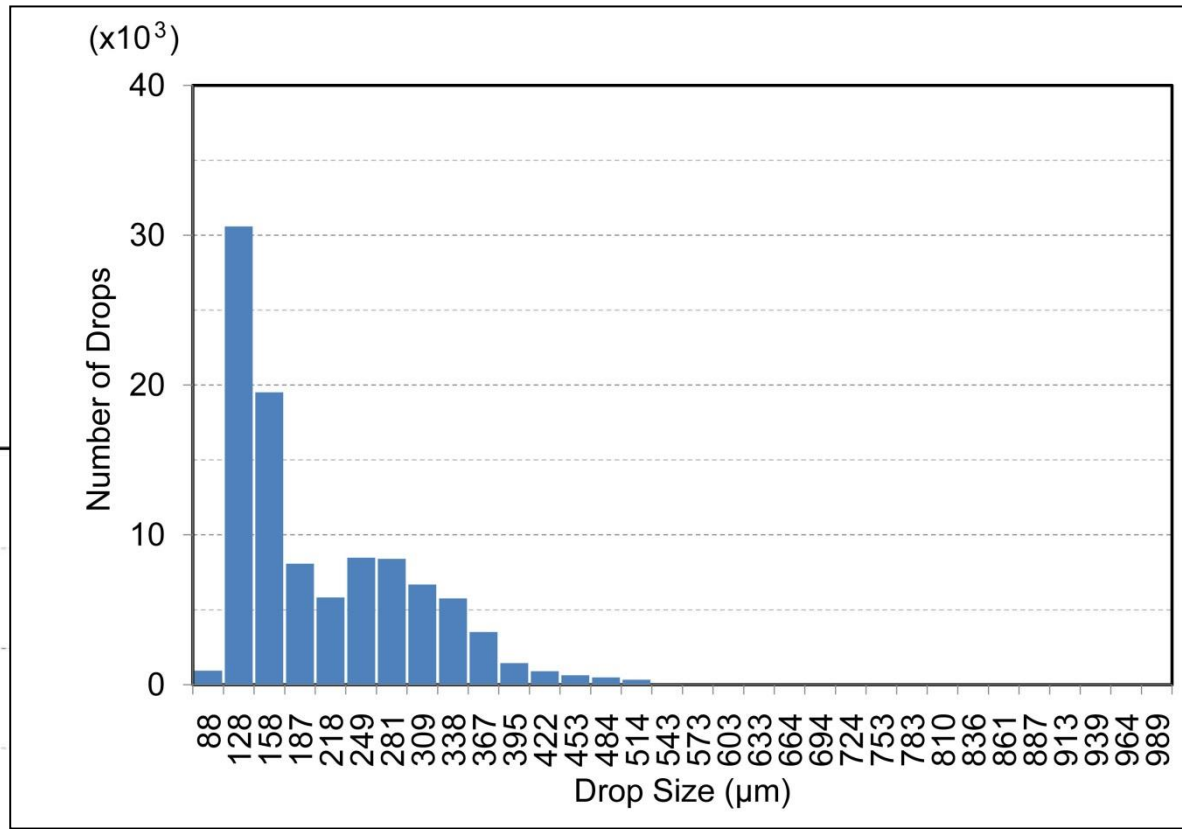
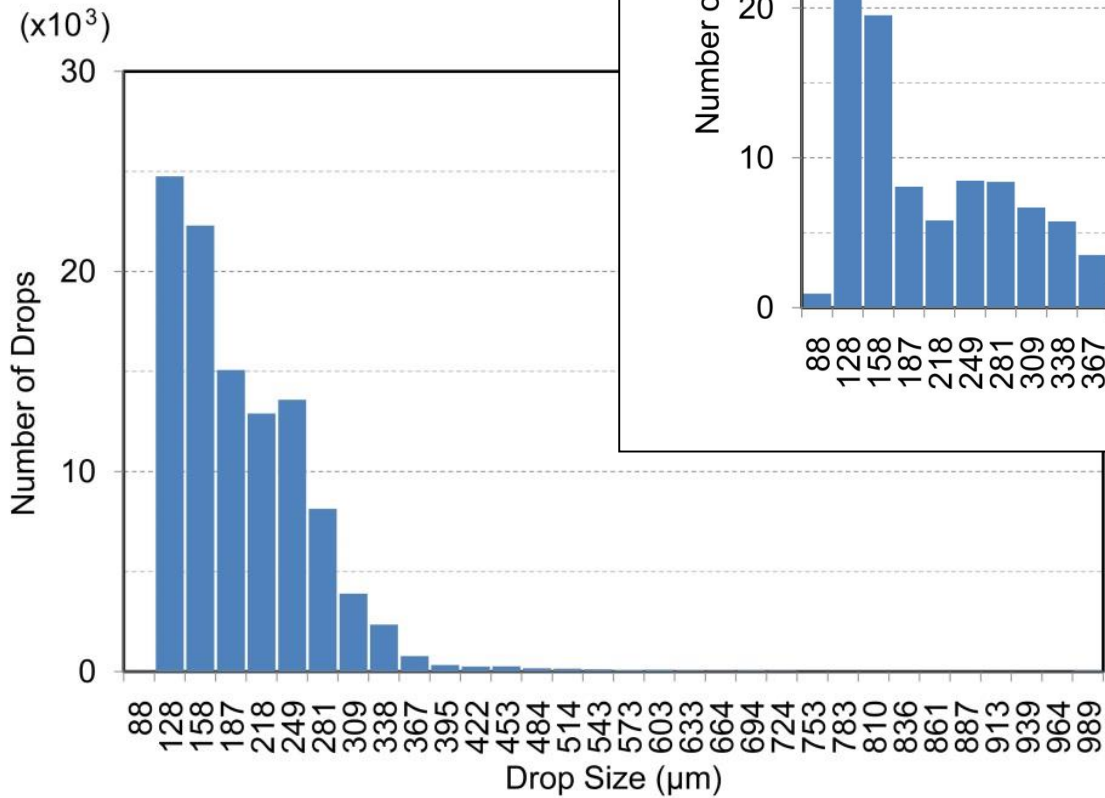
The present study of sea spray drops was conducted during navigation from St. John's to the Lancaster Sound, and the Canada Basin (late August).

The amount of seawater spray was recorded the maximum of the navigation through the Northwest Passage. However, the value was not large.



Spray drop size distribution during the period from 01:00 to 02:00 on July 21. (MAXIMUM)

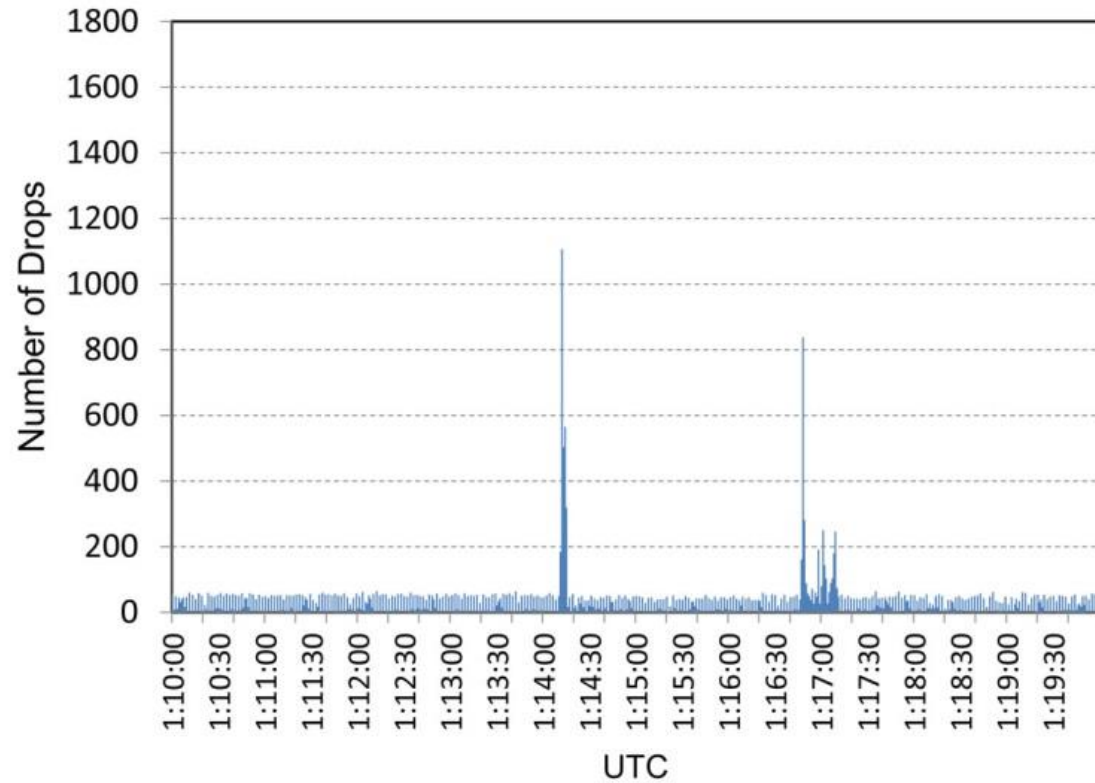
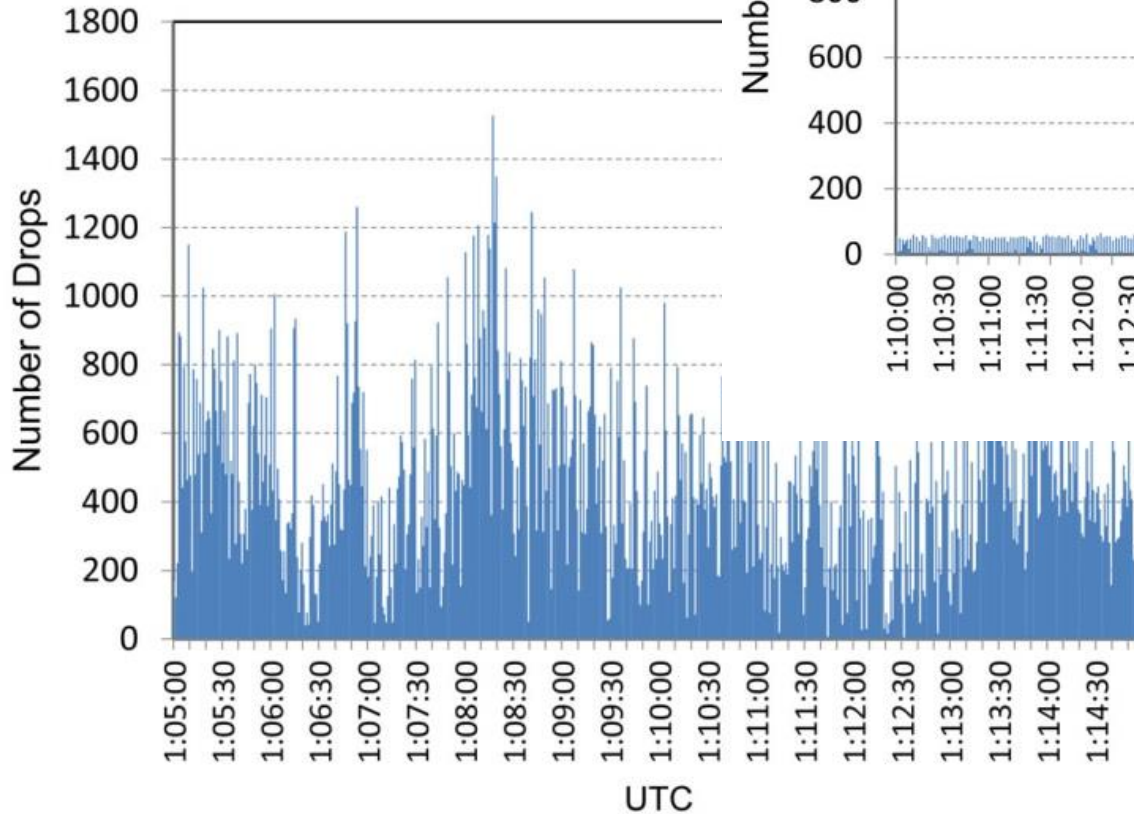
Example 1
strong swell



During the high pitching period.

In this case, large droplets was not detected by SPC. The contribution of long-period swells was small to the increase in the amount of seawater spray.

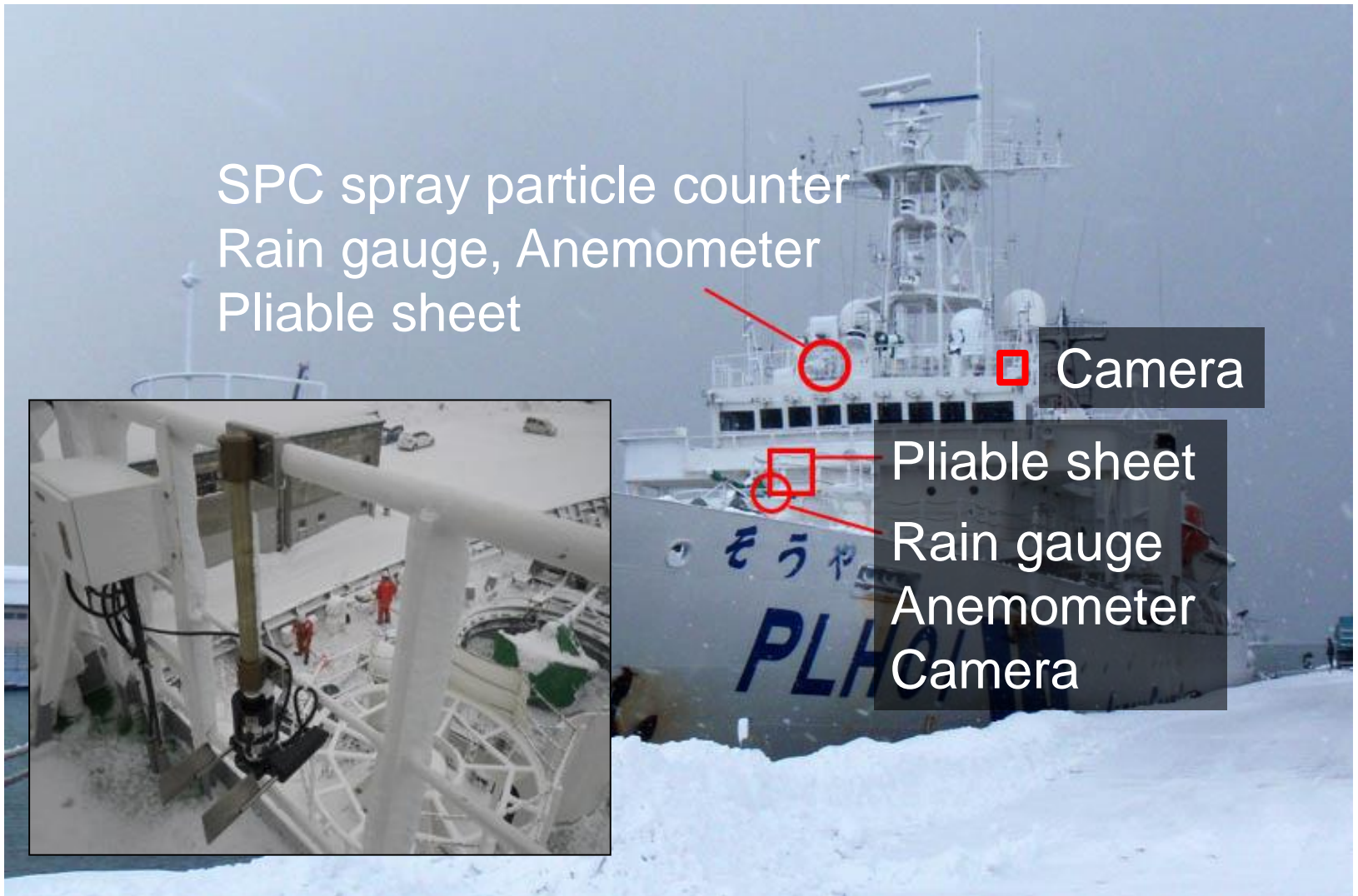
Time series of number of drops during the period from 01:05 to 01:15

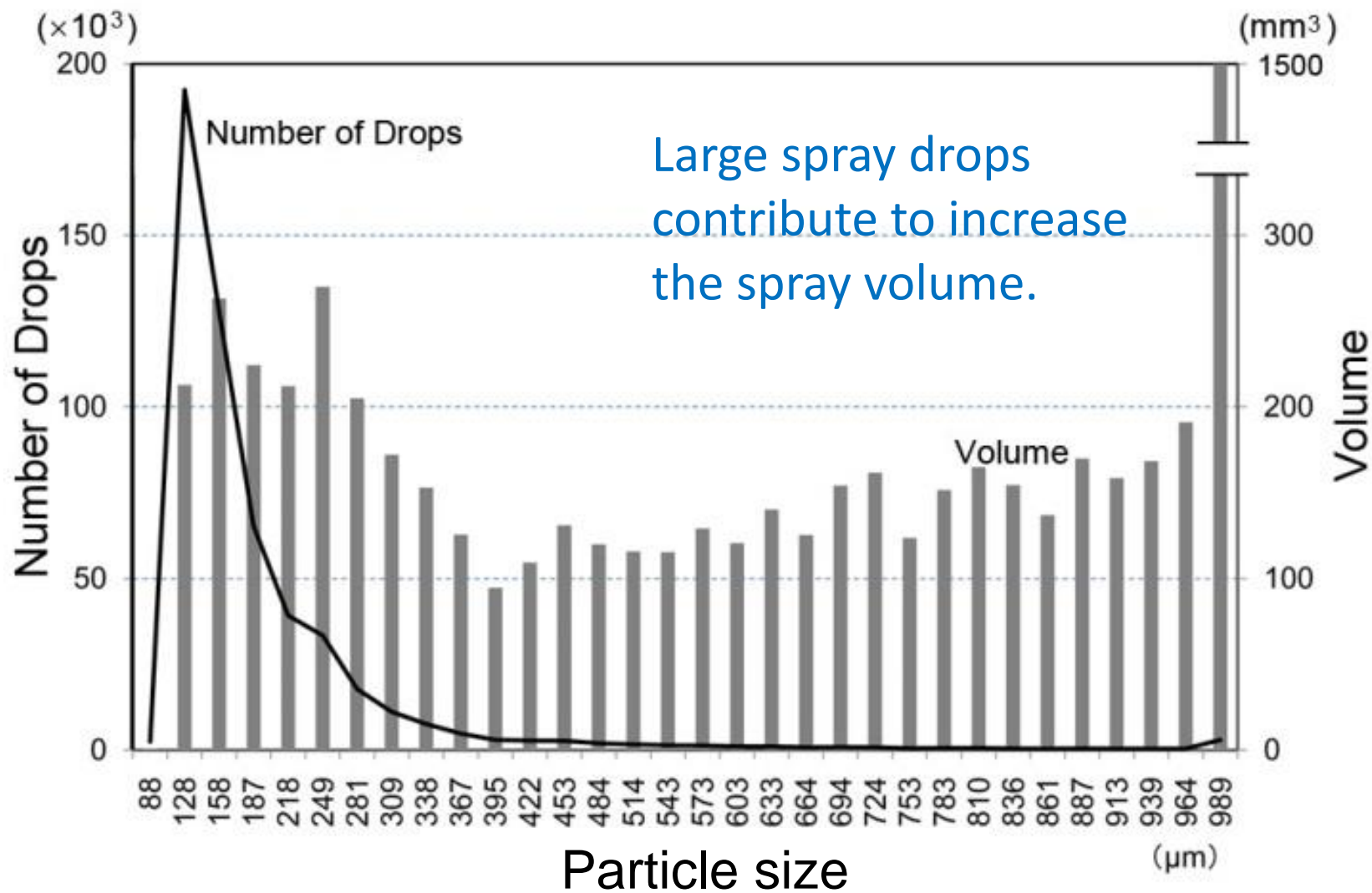


Spikes of signal were observed in Example 1. It indicates the seawater spray generated by ship.

Droplets were detected continuously.
The measuring interval of both figures was 1 s.

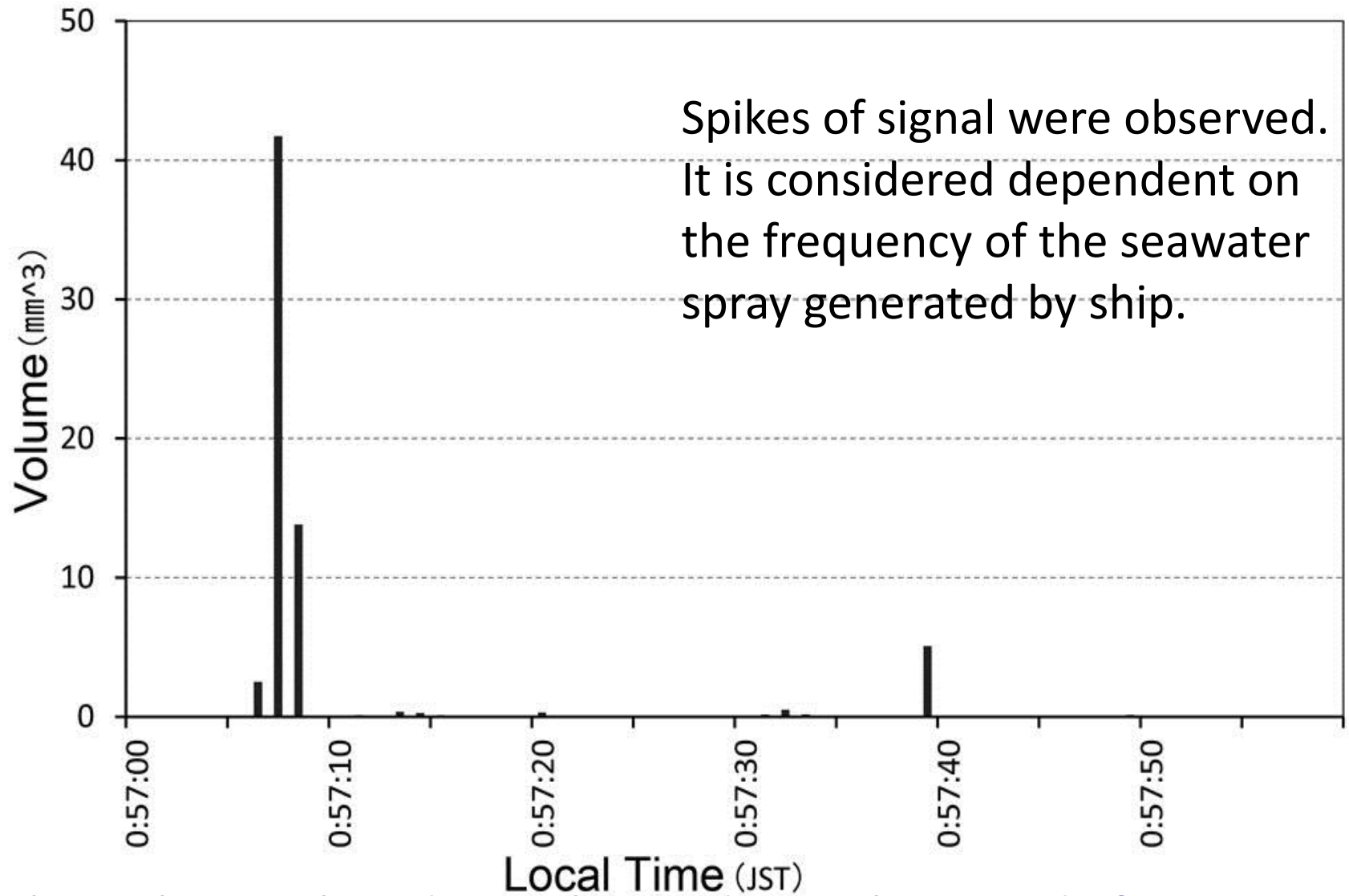
巡視船「そうや」での観測：小樽から宗谷海峡





Spray drop size distribution and spherical equivalent water drop volumes passing the gate of the SPC during the outward voyage period from 24 to 25 February 2013.

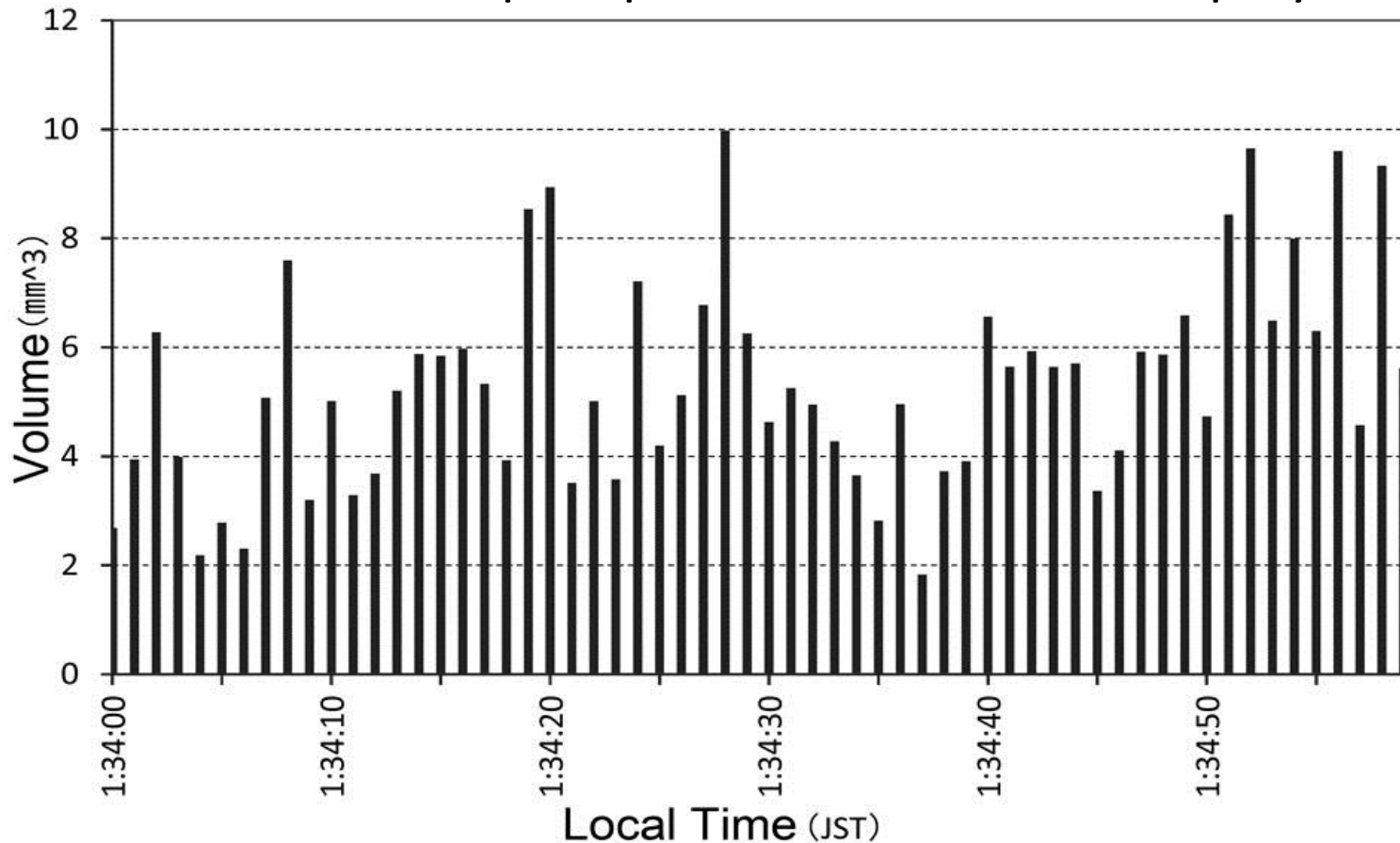
Outward 24-25 February 2013



Spherical equivalent drop volumes during the period of 0:57 on 25 February 2013. Time series of every 1 s. (outgoing Maximum)

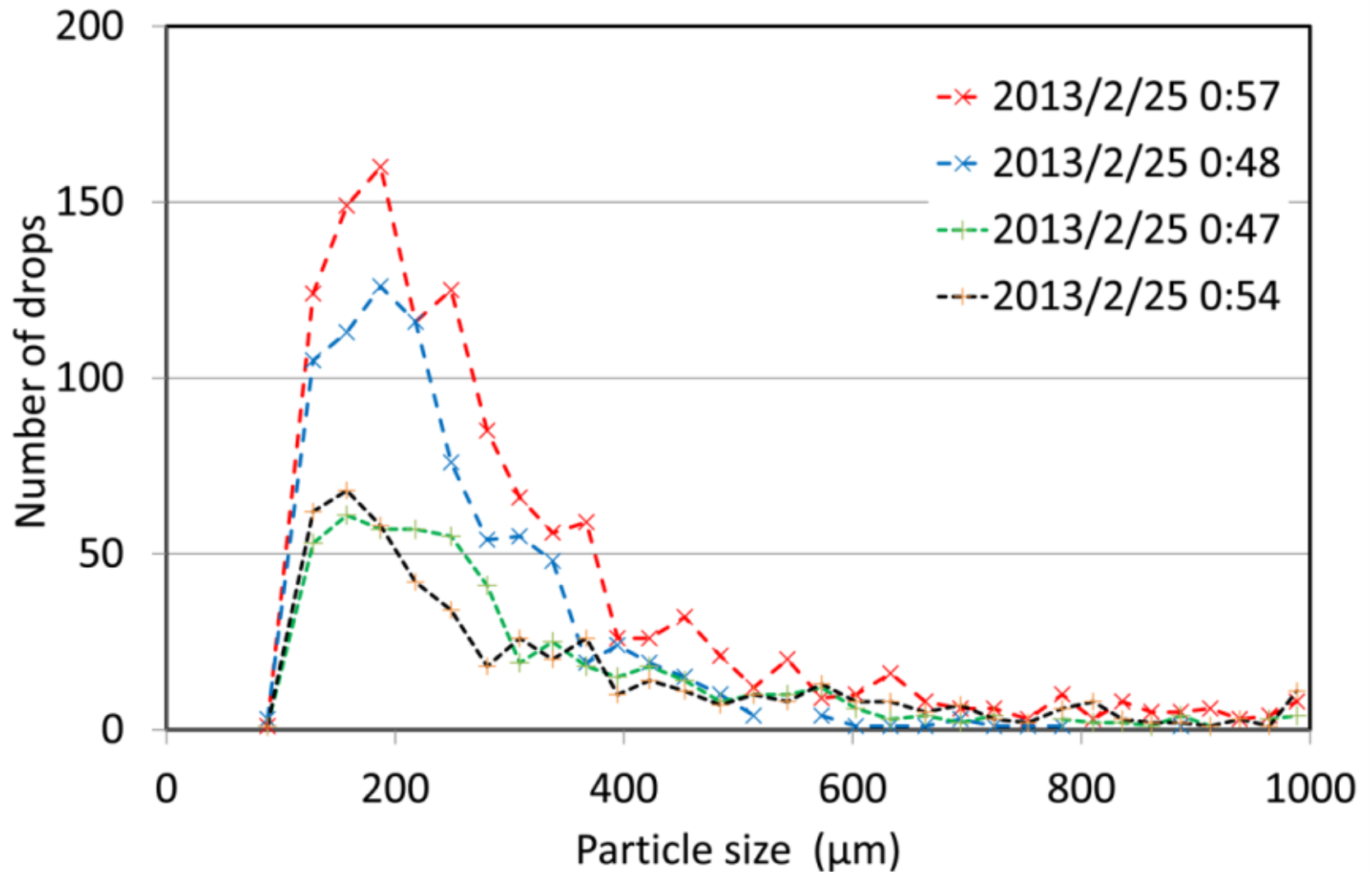
Return
1-2 February 2013

Droplets were detected continuously in this figure, although perturbation of signals was seen. It was suggested that the SPC detected precipitation with seawater spray.



Spherical equivalent drop volumes during the period of 0:34 on 2 March 2013. Time series of every 1 s.(return Maximum)

Particle size distribution for 1 minute



機能的繊維カバーの活用

IWAIS XIII, Andermatt, September 8 to 11, 2009



Fig. 7. The conventional method.

Fig. 8. The tree-climbing technique for suspending the pliable sheet.



(B)
Fig. 2. Two dummy lighthouses set up on the north breakwater of Hamamasu harbor. (A) Spray jet generated by the breakwater, (B) Impinging of spray jet and green water.

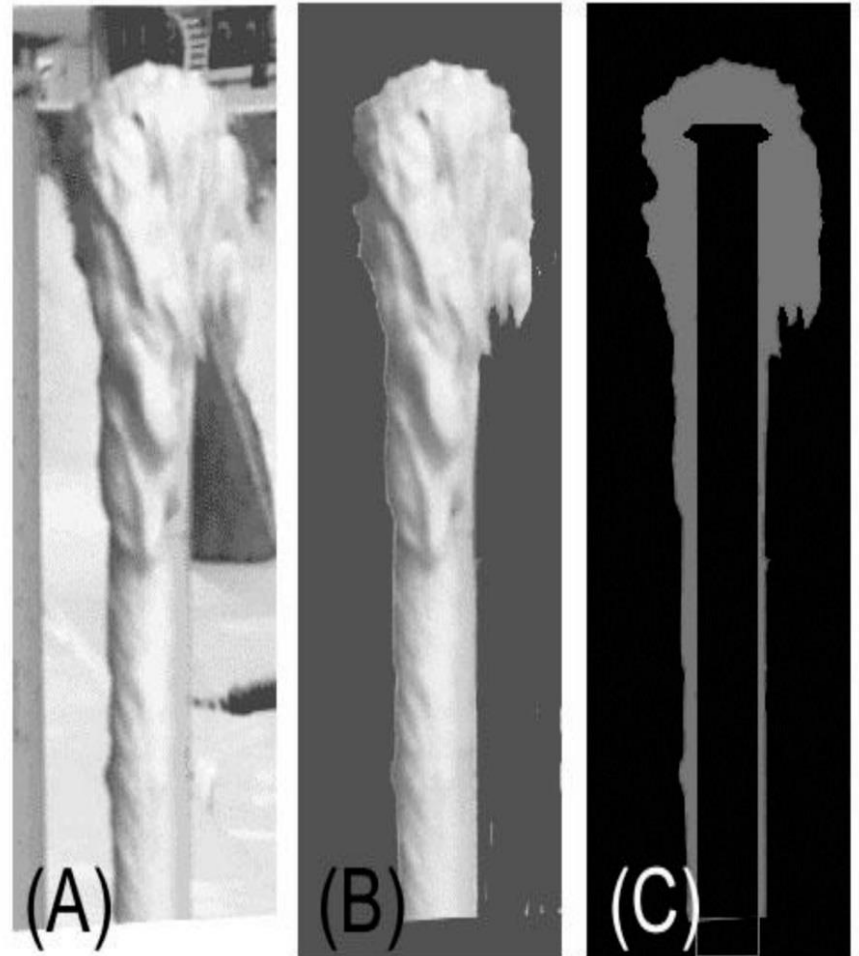
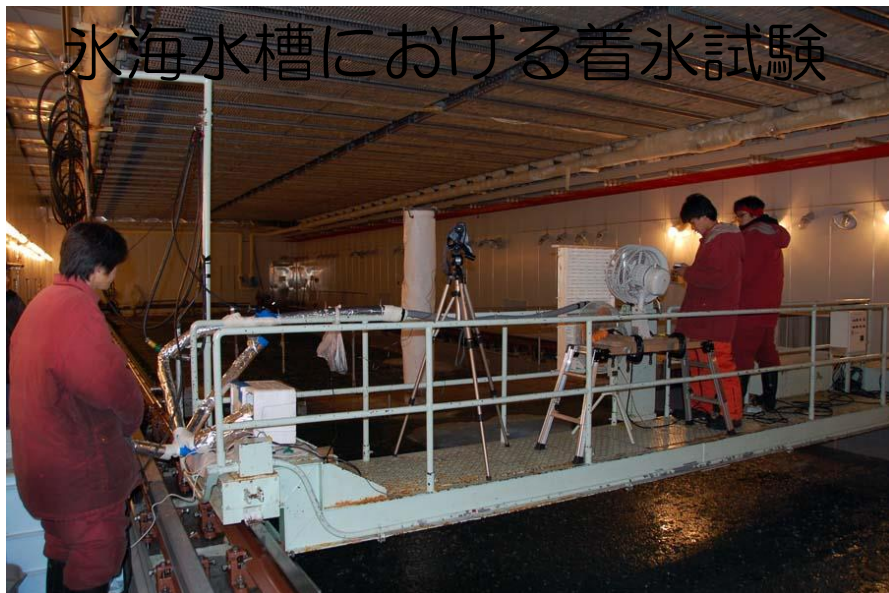


Fig. 4. Graphic data procedure. (A) An original picture, (B) Cropped picture leaving only the subjects, (C) Cross section area of the sea spray icing.

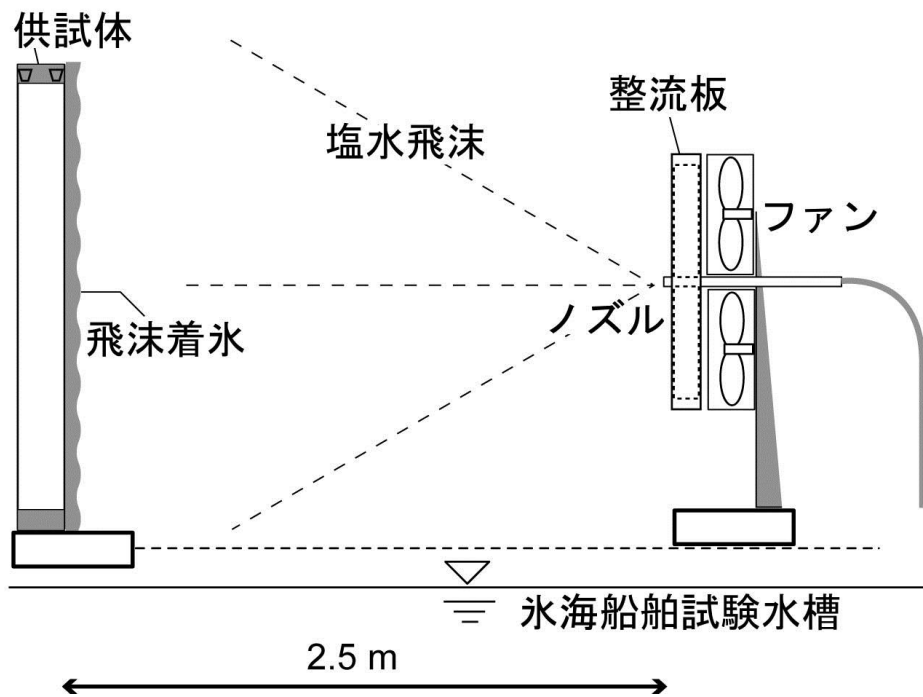
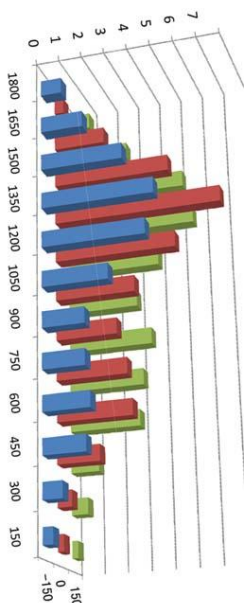
氷海水槽における着氷試験



- シート材料表面の着氷の初生
- 成長と剥落の観察. 着氷成長の制御 (Anti-icing)
- 除氷のしやすさ (De-icing)

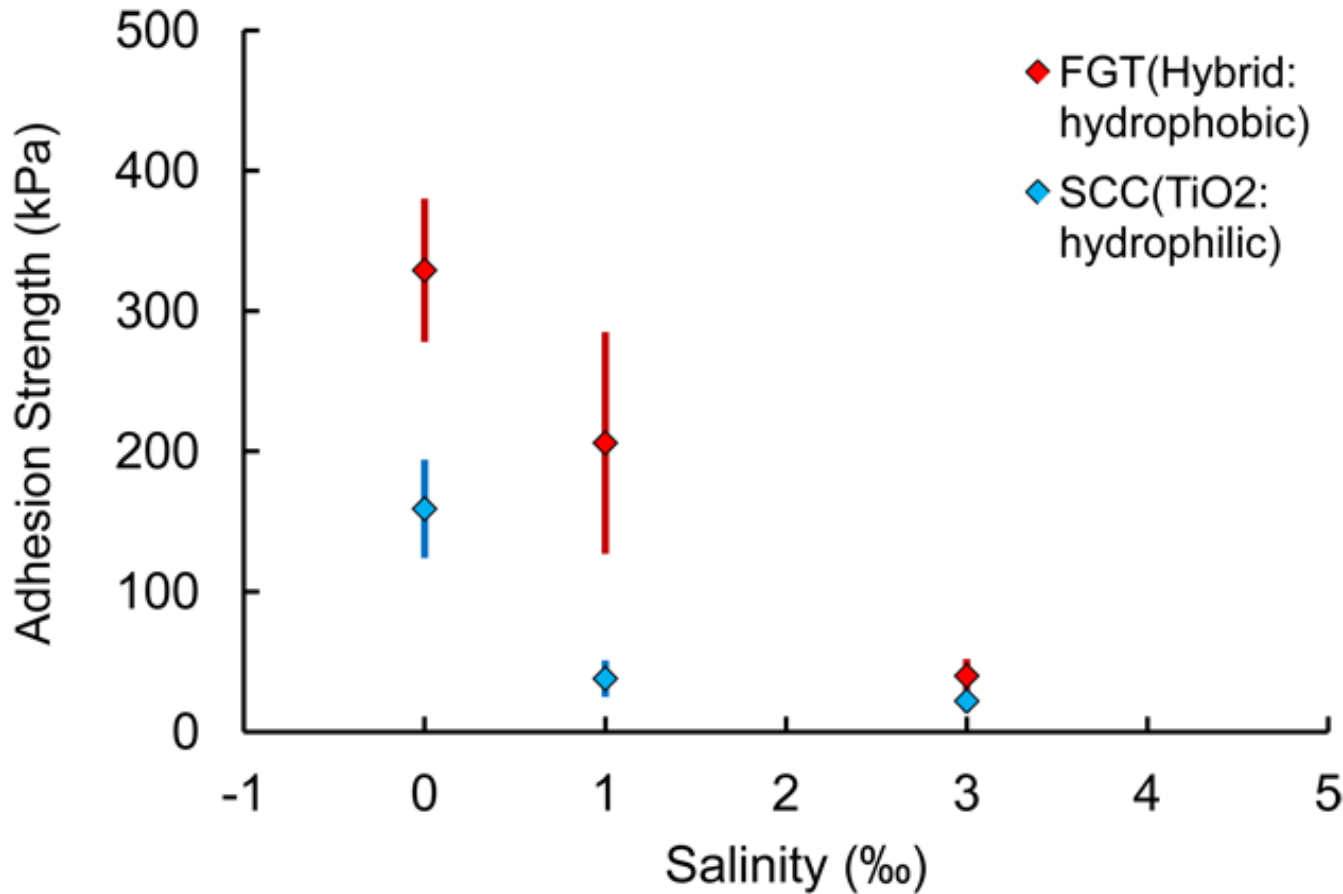
風が強いときの成長過程の観測

観察のしやすさを改善
成長面を目視観測できるように



2010 雪氷研究大会

着氷力の塩分濃度依存性



30 ‰は極めて着氷がはがれやすい状態



結果としては着氷してしまう。

もっと超撥水、超親水の材料でも、着く。

変形との相乗効果をねらう

マーカー：平均値, エラーバー：標準偏差

実験に使用した膜材料

太陽工業製

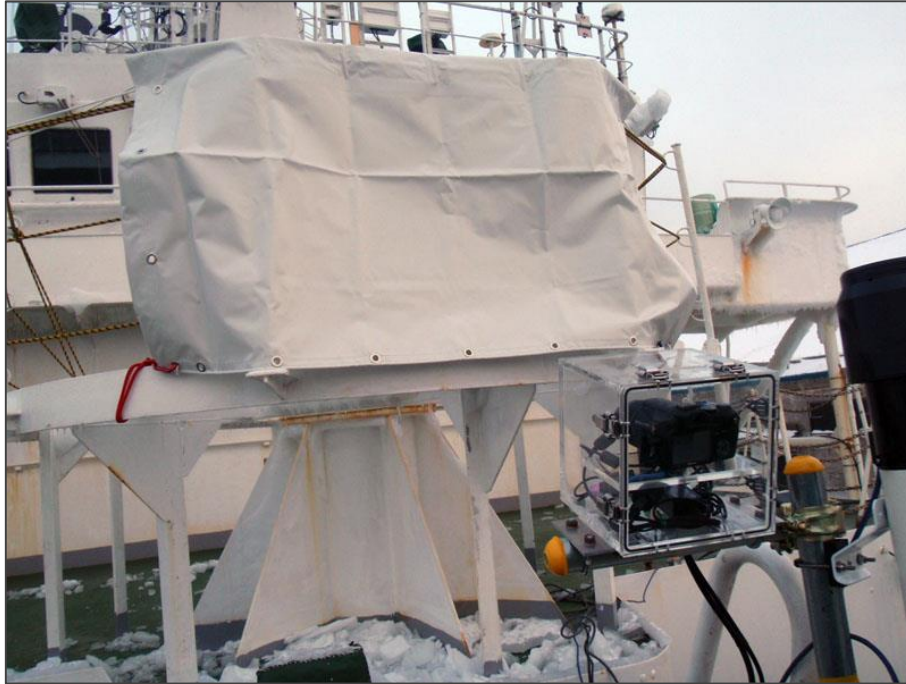


シート	厚さ (mm)	接触角	Ra (μm)
FGT (ハイブリット)	0.6	110~ 120°	4.1
SCC (酸化チタン)	0.7	< 30°	1.6
PVC 通常テント材	0.55	—	—

ハイブリット: PTFE+TiO₂

- ・直径30 cm, 高さ2 mの塩ビパイプに固定
- ・着氷の初生, 成長と剥落の観察
- ・実験終了後, 氷を剥離させて重量, 厚さ, 塩分濃度の測定

巡視船「そうや」での機能性繊維カバー有効性検証実験



- A pliable sheet (1 m height, 2 m width) was suspended on the handrail (front deck and compass deck).
- The sheet was set loosely for fluttering.

Material

- Ice adhesion strength

TiO₂ coating

- Movability

実験例

Heavy spray icing was observed during the period from 24 to 25 February 2013 (Left: Front deck).



The amount of ice accretion on the pliable sheet was a little (Right: Front deck).

It suggested that the ability of deicing was depended on the pliability of the sheet.

まとめ

着氷雪防除:

機能性繊維カバーの利用:超撥水性膜+湿度(水蒸気)

吸収発熱膜(フラットリングする素材):開発

着氷危険指標の作成例 (今後)

海域名

月	無氷率	晴天率	軽微着氷率	中庸着氷率	重着氷率	備考
1	a - b	c - d	e - f	g - h	i - j	
⋮						
12						

船種名

	着氷種	飛沫	雪	雨水	霧氷	霰	霜
部位・機器	重要性 (安全性)	10	8	7	6	3	1
前方ハッチ	9	100	80	60	30		
クレーン	8	90	70	70	70	6	0
