

衝突時の被害軽減のための船体構造への 高延性鋼(HDS)適用に関する研究

今治造船株式会社 紙田 健二

共同研究者

新日鐵住金株式会社

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

海上技術安全研究所

一般財団法人 日本海事協会



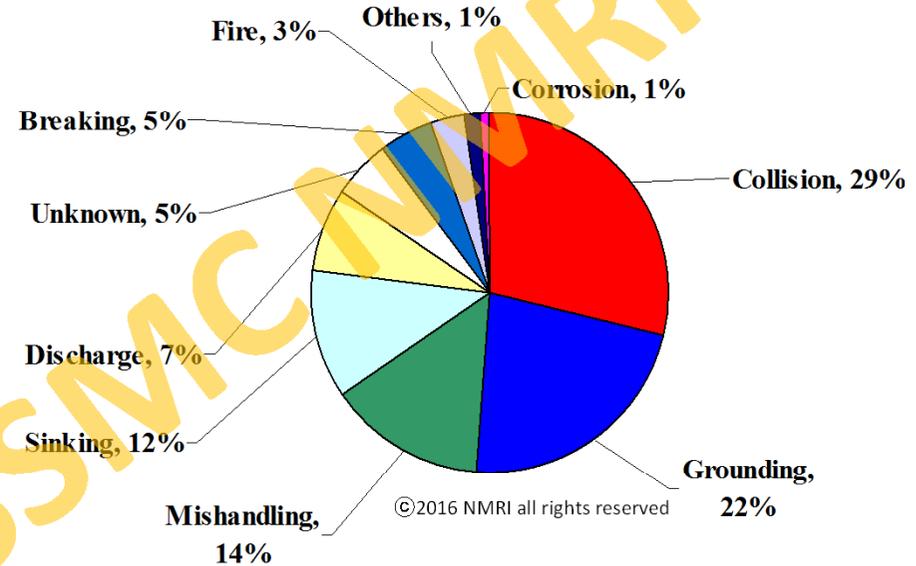
本研究開発の一部は日本海事協会の「業界要望による共同研究」のスキームにより研究支援を受けて実施しました

発表概要

1. 研究の背景
2. 高延性鋼 (Highly Ductile Steel : HDS)の開発
3. HDSが耐衝突強度に与える影響について
衝突シミュレーション
Phase 1
Phase 2
4. HDSの実船適用
5. Class Notation (HP-HDS)
6. まとめ

研究の背景

- 船舶の衝突や座礁による損傷・沈没は貴重な人命や資源を喪失させるだけではなく、大きな環境被害にもなりかねない重大事故につながる可能性がある
- 近年の船舶の油流出の原因も衝突と座礁が大半を占める
- 油タンカーの二重殻構造も油流出防止に効果的であるが、現状で十分であるかはこれまでも議論されている



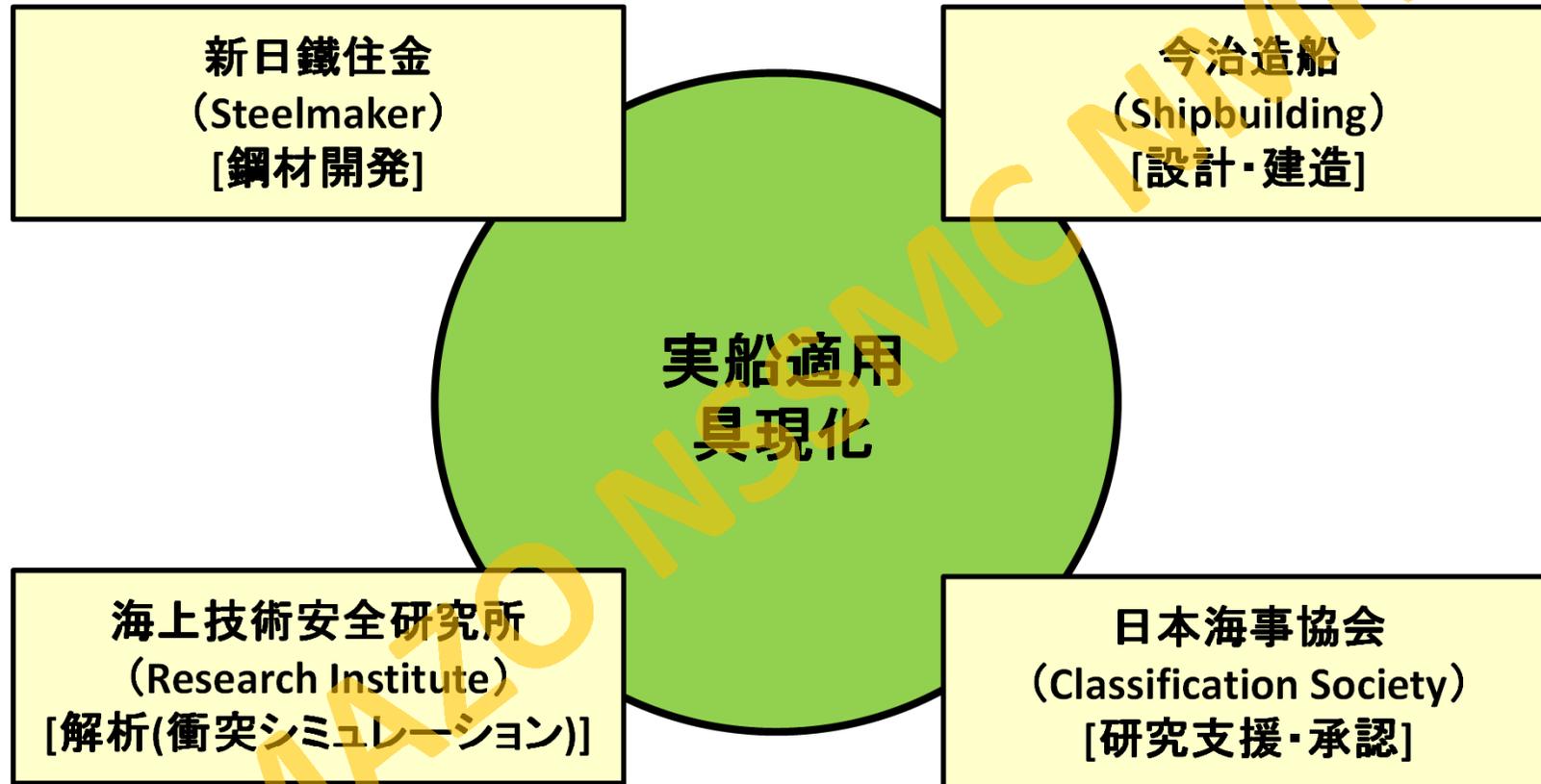
Cause of oil spills from tankers in 1970-2007
IOPCF (2007)

タンカーの油流出原因 (1970-2007)

[Yamada and Kaneko:ICCGS, 2010]

高延性鋼(Highly Ductile Steel : HDS)を適用した安全性を高めた船舶の提供・提案

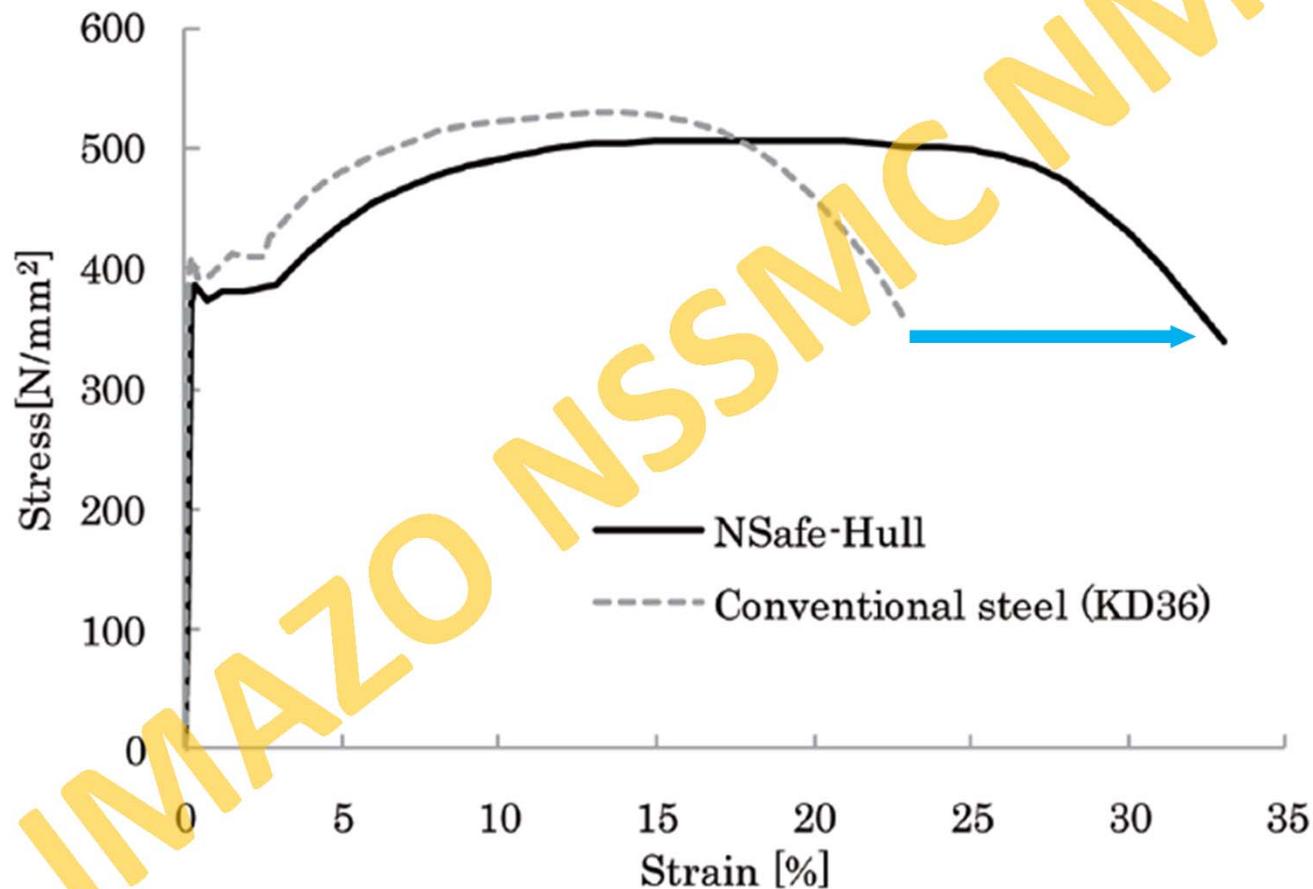
研究・開発体制



高延性鋼(Highly Ductile Steel : HDS, NSafe[®]-Hull)の開発

(1) 機械的性質

強度(降伏, 引張)は従来鋼と同じで伸びが大きい



鋼板の応力-歪曲線の一例

(大川ら: 新日鉄住金技報 第400号(2014) 31-37)

高延性鋼(Highly Ductile Steel : HDS, NSafe[®]-Hull)の開発

(2) HDSの特徴

- 従来鋼に比べて
 - (1) (規則要求値に比べて)大幅な伸びを有する
 - (2) 強度、施工性(溶接性)などは従来鋼と同じ
- 従来鋼をHDSに置き換えるだけで良く、構造変更は不要

(3) 溶接性評価の一例

- EG溶接により入熱量20kJ/mmの大入溶接継手を作製し、シャルピー試験にて継手靱性を評価
- 最も靱性が劣化しやすいFL部において $vE \geq 150J$ 、従来鋼と同等以上の溶接性を有していることを確認

(大川ら：新日鉄住金技報 第400号 (2014) 31-37)

HDSの効果

塑性域において延びが大きくなりことにより、吸収する衝突エネルギーは大きくなる

1) 破断が生じにくい

⇒油流出量防止・減少、浸水(沈没)防止

2) 各部材がより多くのエネルギーを吸収可能

⇒陥没量が小さくなる

HDSが耐衝突強度に与える影響について

動的的非線形構造解析法を用いて油タンカー(VLCC)にHDSを適用した場合を検証

- Phase 1 : 1Tankモデル / 弾塑性領域 1 Tank長 (片舷)
Collision angle : 真横
Collision speed: 12knot
- Phase 2 : 高精度モデル / 弾塑性領域 3 Tank長 (両舷)
Collision angle : 斜め – 真横
Collision speed : 1-12 knot

評価指標

限界衝突速度 ($V_{B,cr}$)

衝突による荷油タンク貫通(内板き裂) に至る衝突船の速度

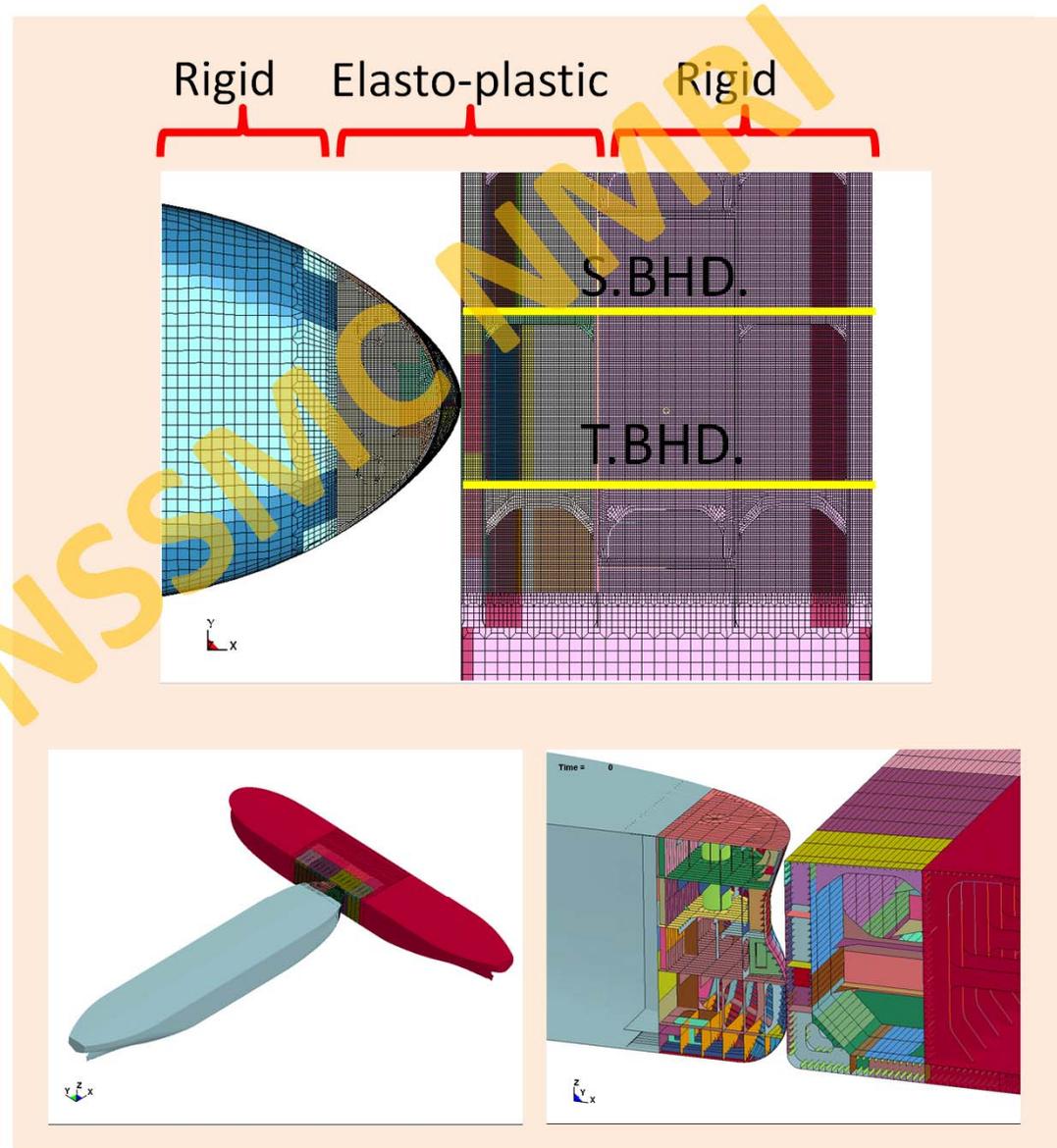
衝突シミュレーション

Phase 1

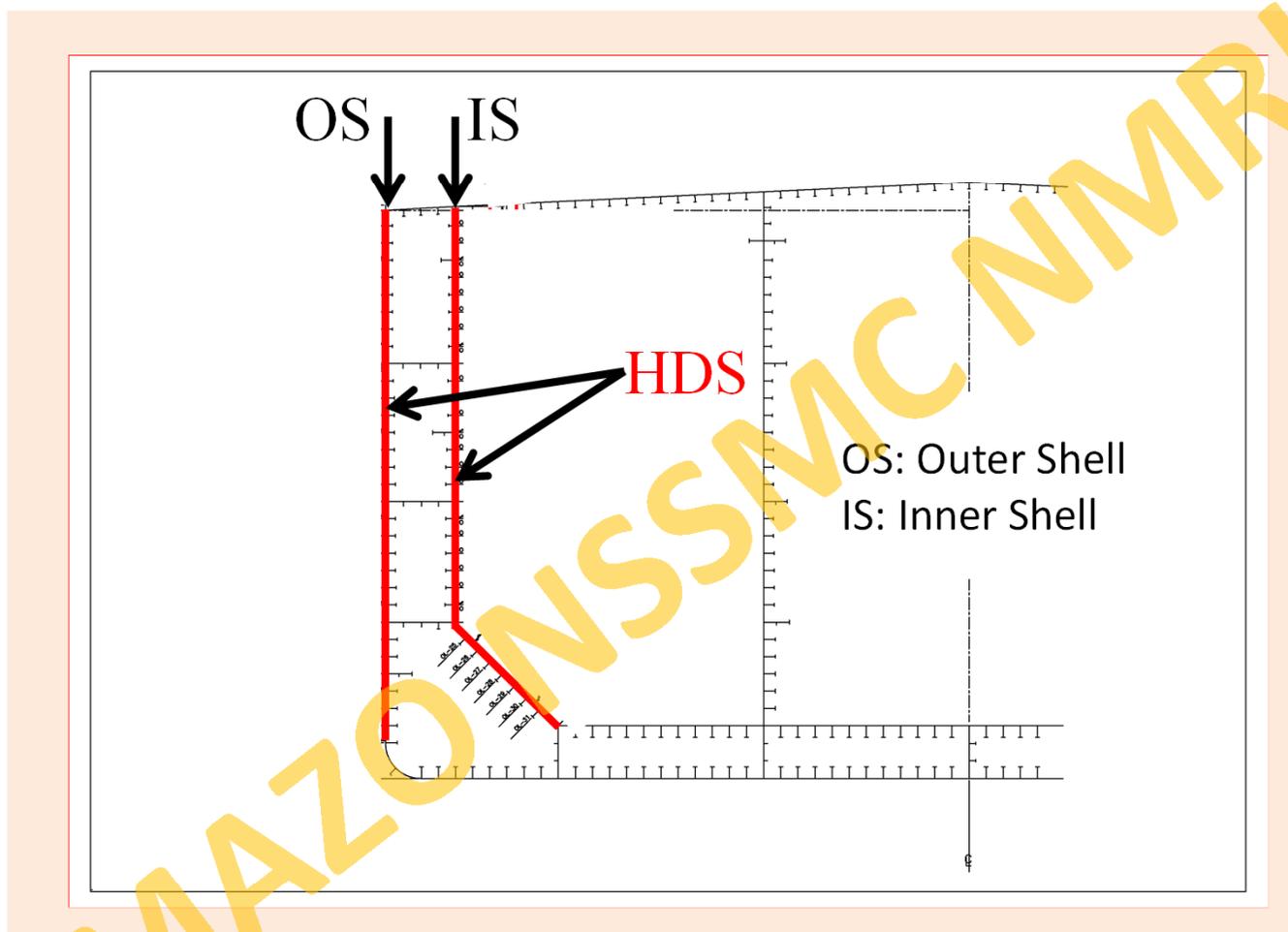
IMAZO NSSMC NMRI

Phase 1 : 衝突条件

- 解析ソフト : LSTC LS-DYNA ver.971
陽解法、3次元動的シミュレーション
- 海上技術安全研究所にて解析実施
- VLCC collides with the midship part of another VLCC
- Both ships fully loaded
- Collision speed
striking (VB) : 12 knot
struck (VA) : still
- Collision angle : $\theta=90$ deg.
- Motion of struck ship
: Considered
- Deformation area
: 1Tank length, 1/3widths

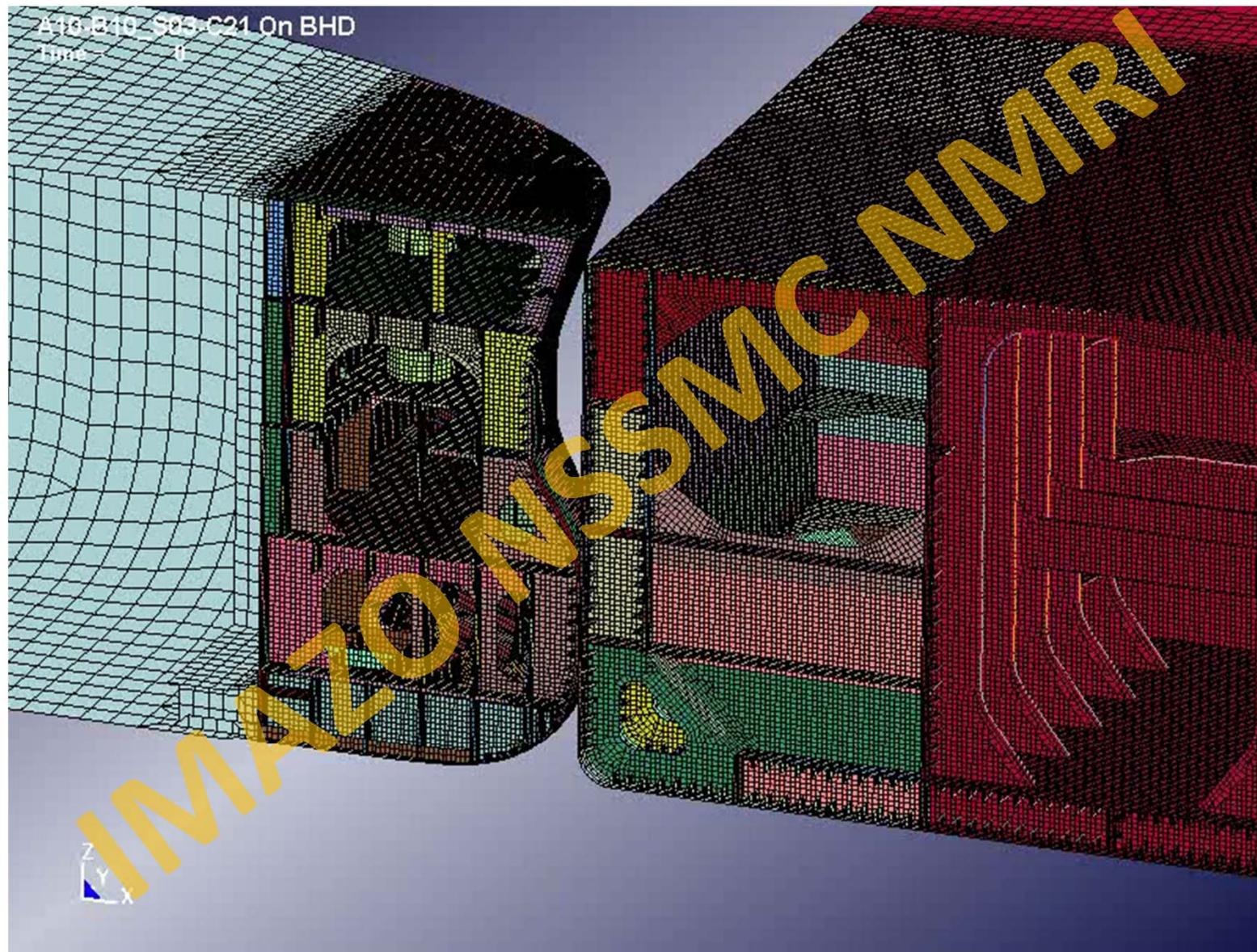


Phase 1 : HDS適用箇所



HDS は被衝突船の外板及び内板のみに使用
その他の部材は従来鋼 (Partial I)

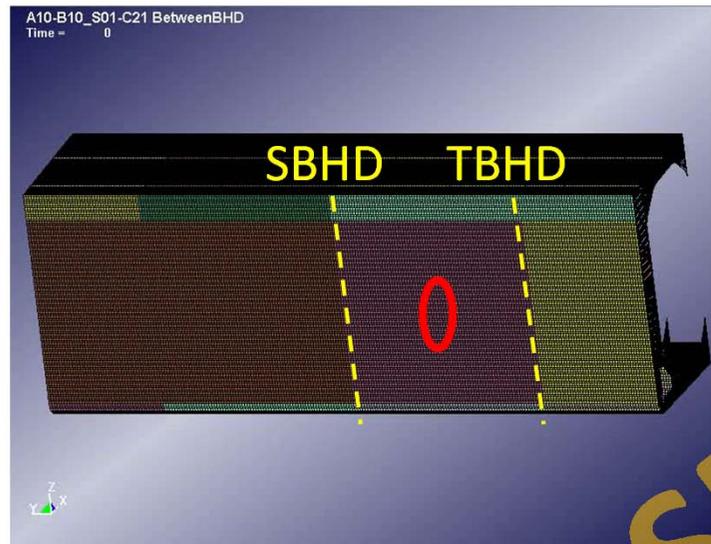
Phase 1 : 解析結果



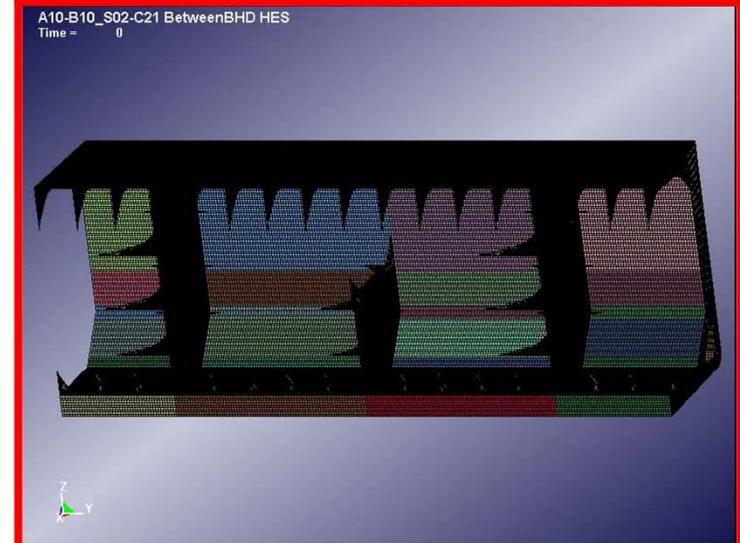
*海上技術安全研究所にて解析実施

Phase 1 : 解析結果

Outer Shell



Inner Shell



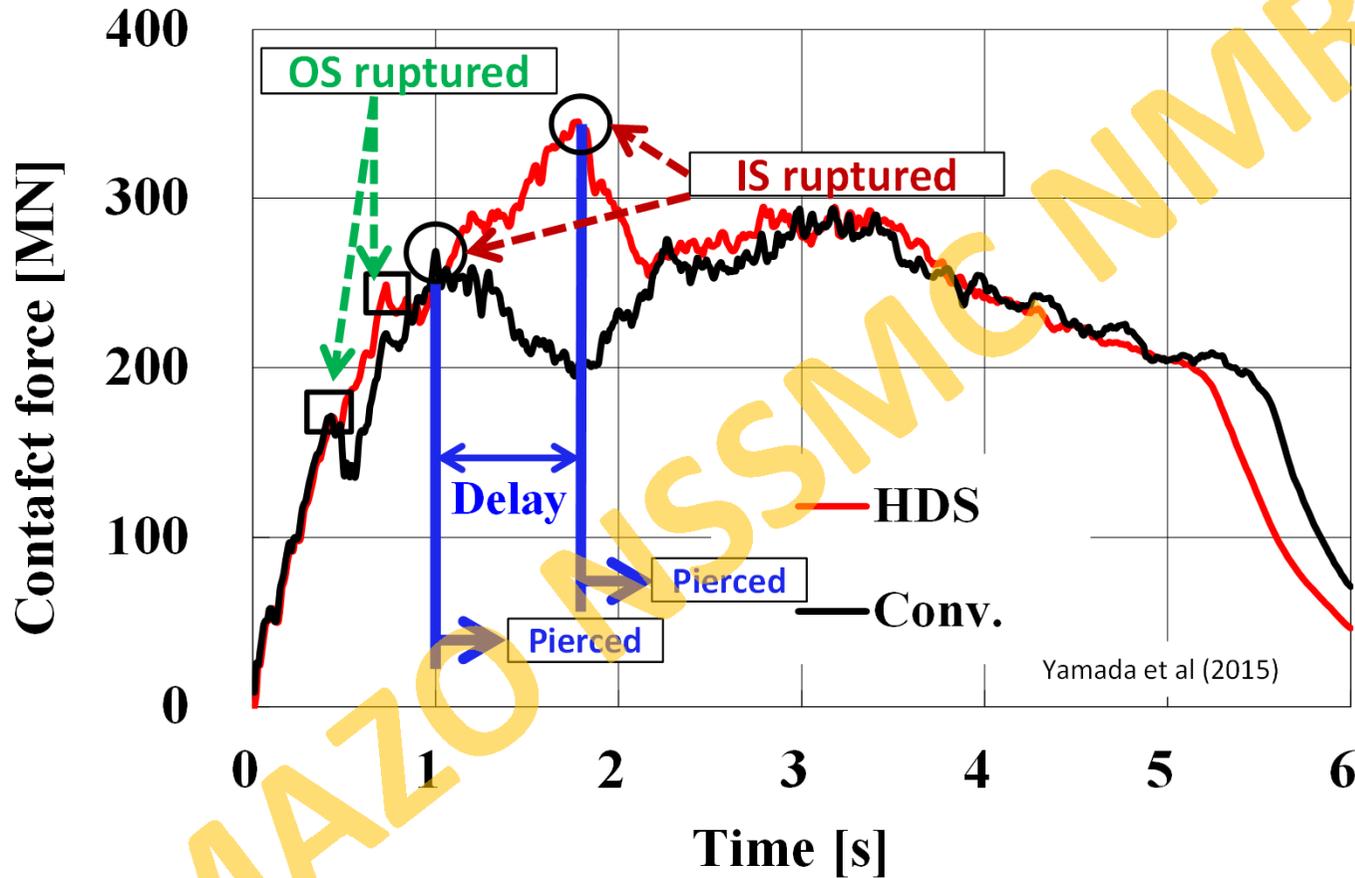
Conventional $T_{rupture}:0.87$

HDS $T_{rupture}:1.81$

* 海上技術安全研究所にて解析実施

Phase 1 : 反力履歴の比較

VB=12kt, Bet. T.BHD. (C21)



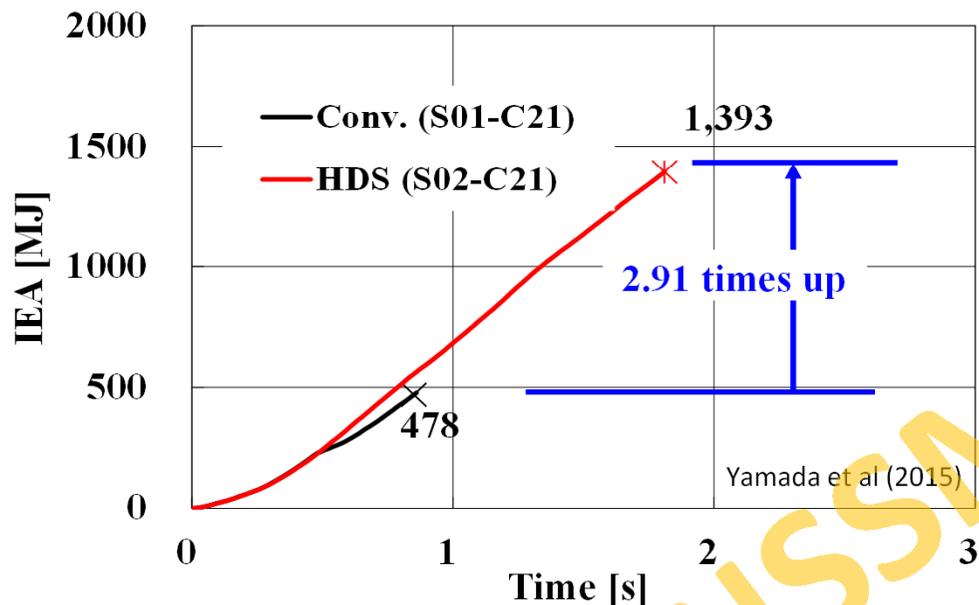
黒 : 従来鋼 赤 : HDS

反力は内板き裂後急激に減少する

内板き裂に至る時間は約2倍の差 ($T_{rupture}$; 0.87s \rightarrow 1.81s)

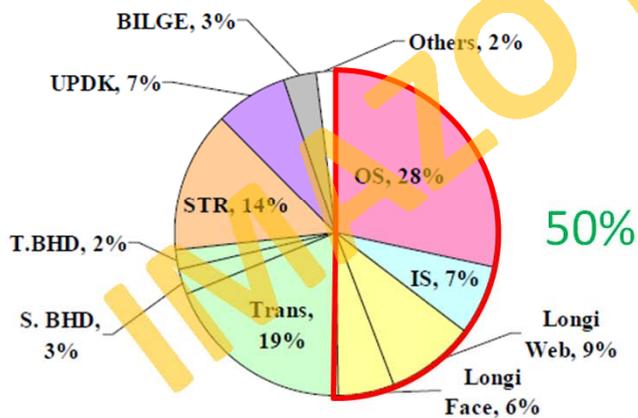
Phase 1 : 吸収エネルギーの比較

Bet. BHD.



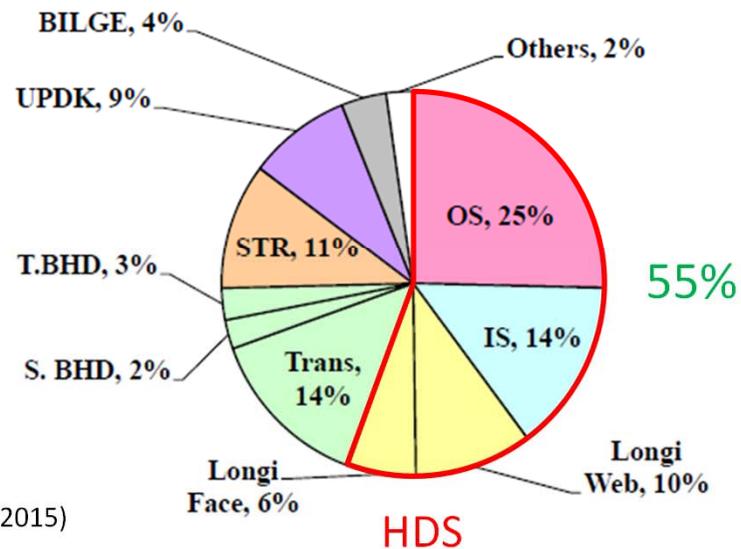
被衝突船の荷油タンク(内板)亀裂に至るまでのエネルギー吸収量は従来鋼に比べて約3倍

部材別吸収エネルギー比率



Conventional

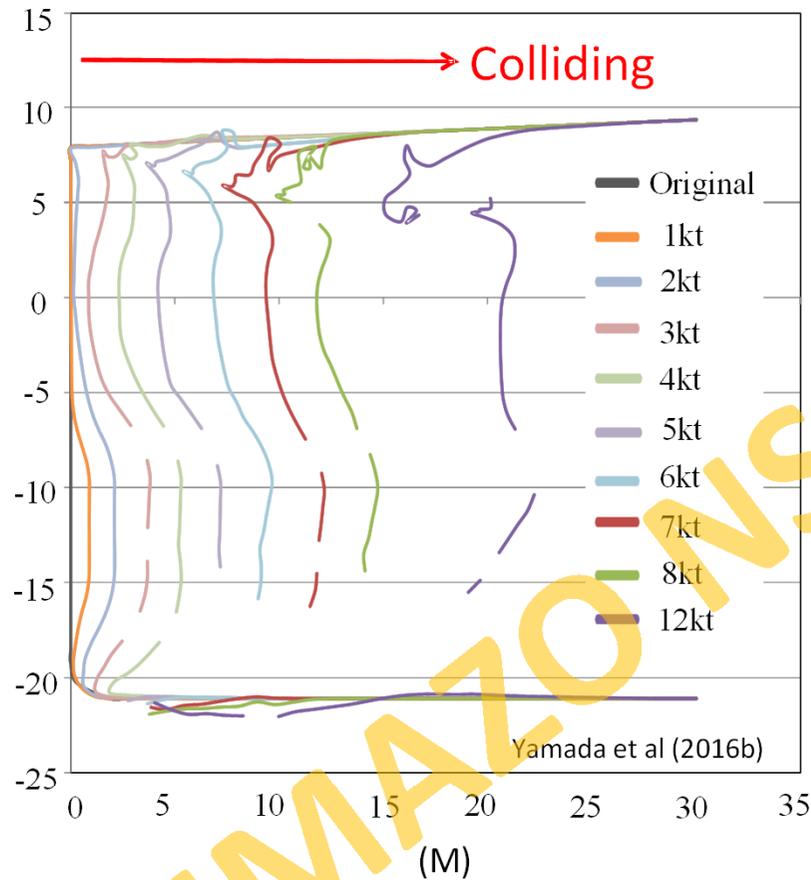
Yamada et al (2015)



HDS

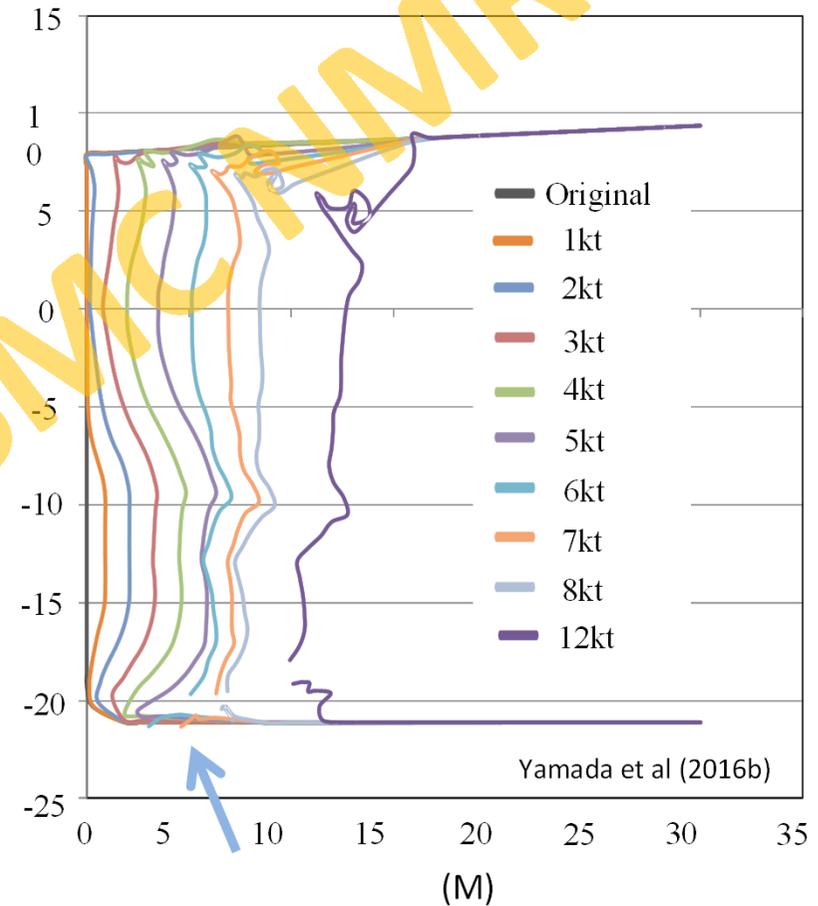
Phase 1 : 衝突後の変形量比較(外板)

Conv.



Rupture: about 3knot

HDS

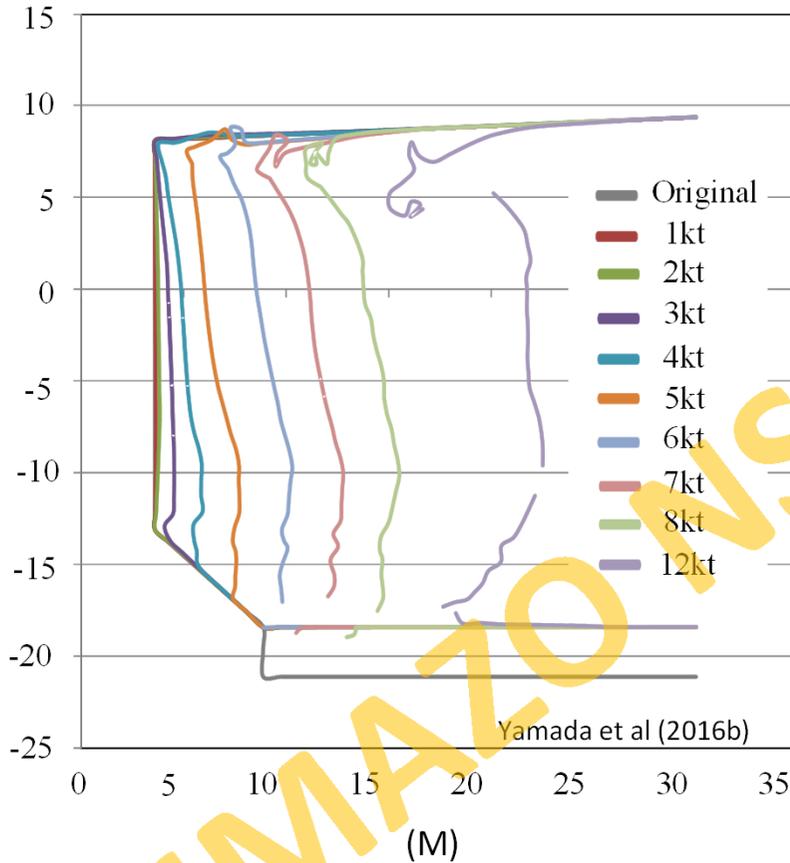


Rupture: about 6knot

※被衝突船の運動は非考慮

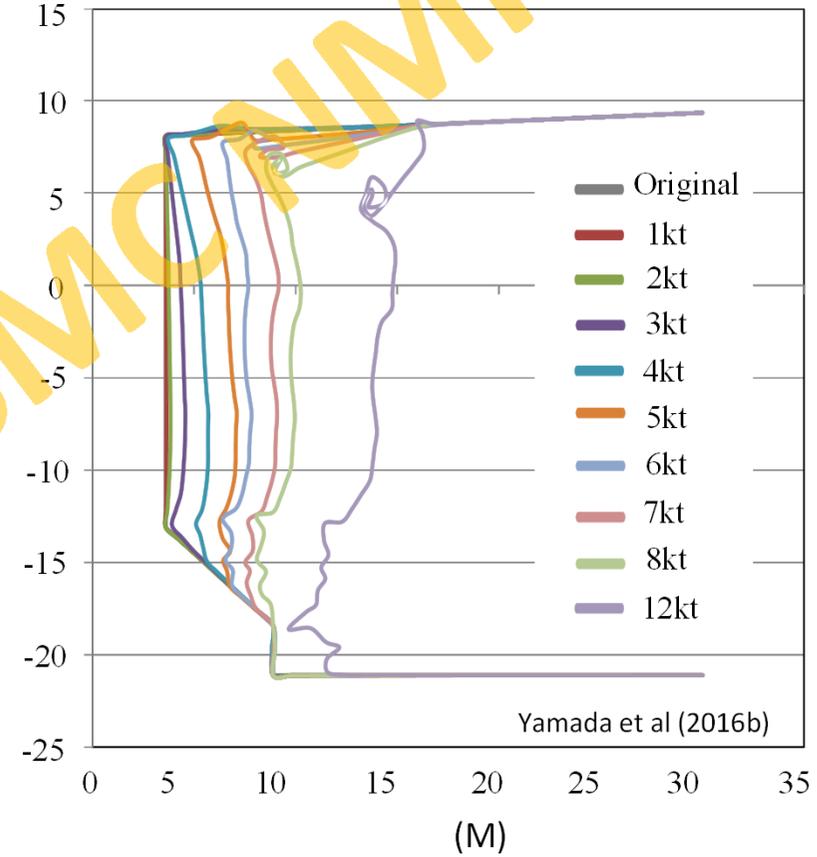
Phase 1 : 衝突後の変形量比較(内板)

Conv.



Rupture: about 5knot

HDS



Rupture: about 8knot

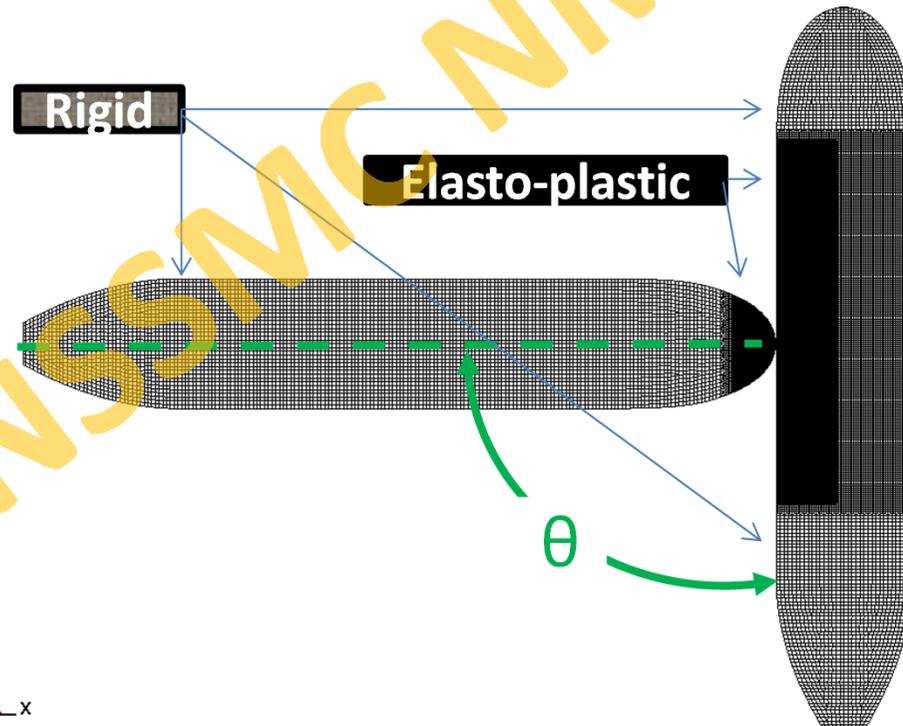
※被衝突船の運動は非考慮

衝突シミュレーション
Phase 2

IMAZO NSSMC NMRI

Phase 2 : 衝突条件

- VLCC collides with the midship part of another VLCC
- Both ships fully loaded
- Collision speed
striking (VB) = **2-12 knot**
struck (VA) = **still**
- Collision angle $\theta=30-150$ deg.
- Motion of struck ship
: **Considered**
- Deformation area
: **3 Tank length**

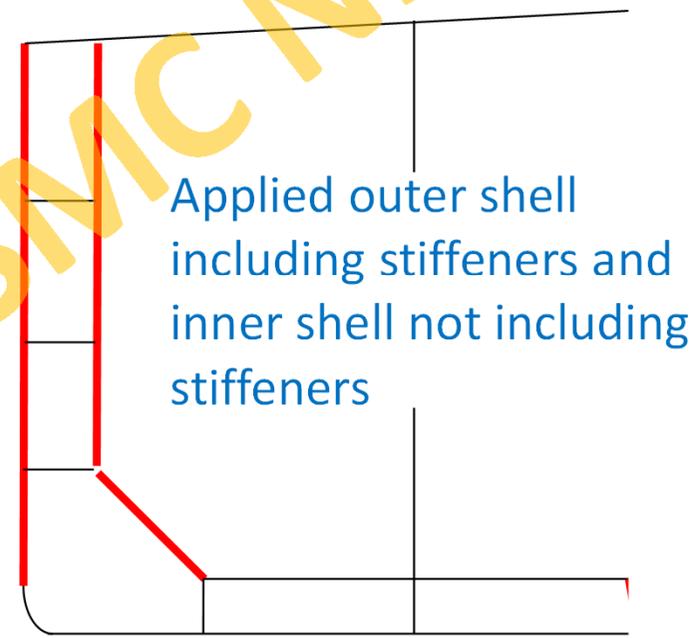


Phase 2 : HDS適用箇所

Full application



Partial application
(Partial II)



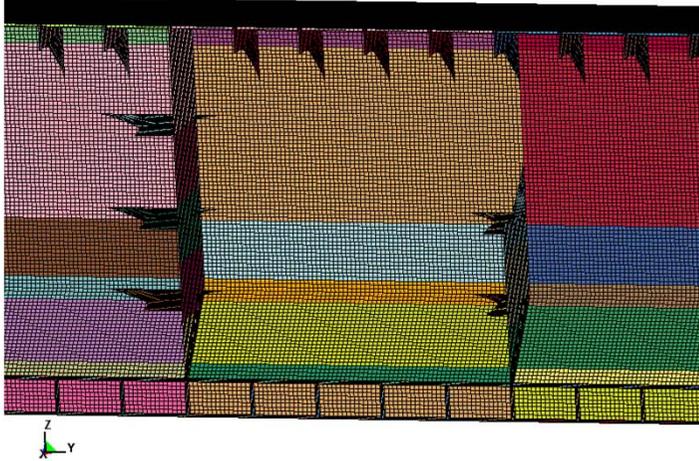
Phase 2 : 解析ケース

Velocity(kt) \ Angle(deg)	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
30	N				N	N	N				
60					N	N	N	N			
75	F,P,N					N	N	N			
90	F,P,N	N		N		N	N	N	N		
105	F,P,N				N	N	N	N		N	
120	N				N	N	N	N			
135	N	N	N	N		N	N	N			
150	N				N	N	N				

F : HDS Full applied
 P : HDS Partial applied
 N : HDS Not applied

Phase 2 : 解析結果

A13-B10 B02-C122 A90 V12kt HES-FULL
Time = 0



Full-applied, 90deg.

A13-B10 B05-C126 A90 V12kt HES-HALF
Time = 0



Partial-applied, 90deg.

A13-B10 B09b-C116e A90 V12kt Conventional
Time = 0



Conventional, 90deg.

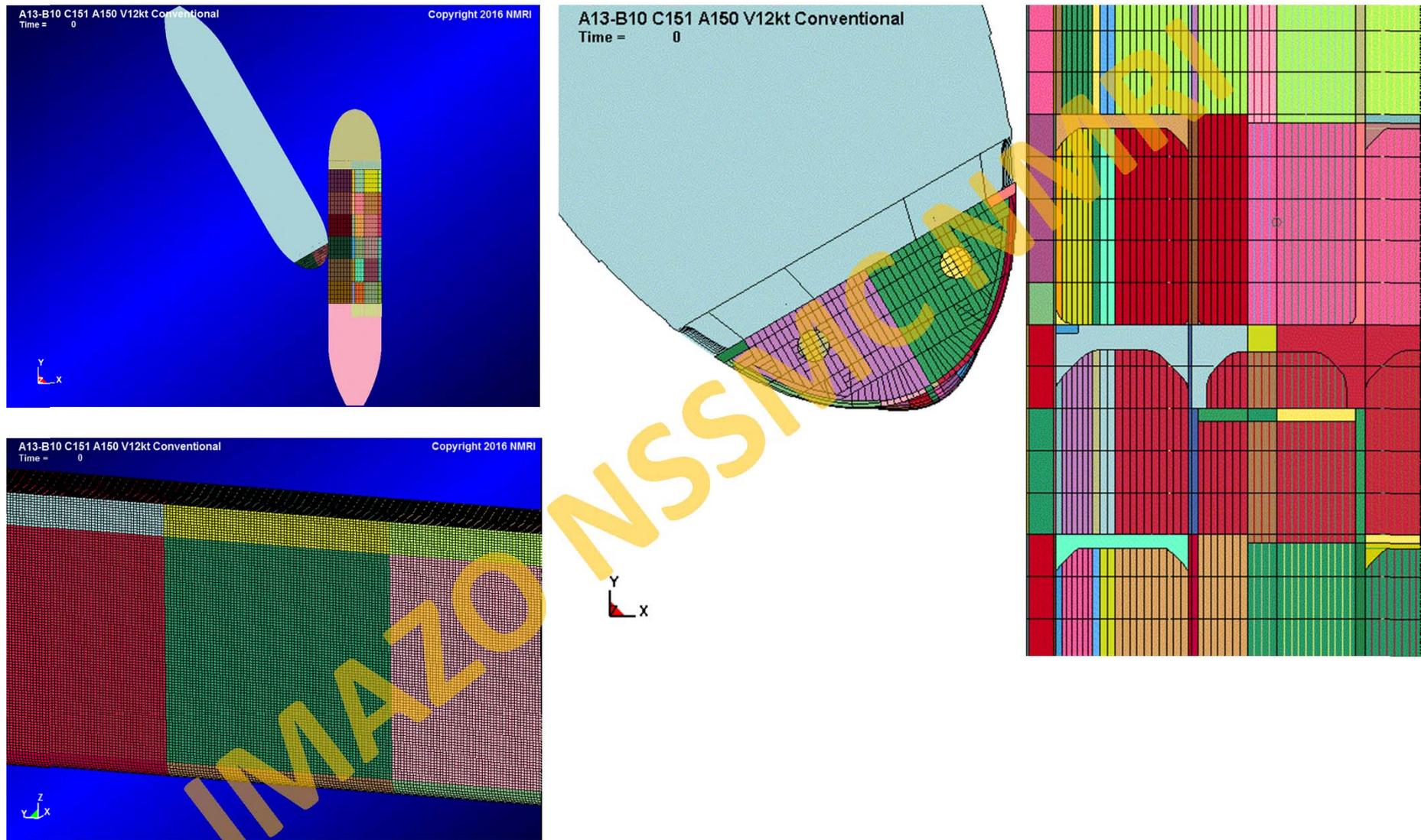
A13-B10 C130 A135 V12kt Conventional
Time = 0



Conventional, 135deg.

* 海上技術安全研究所にて解析実施

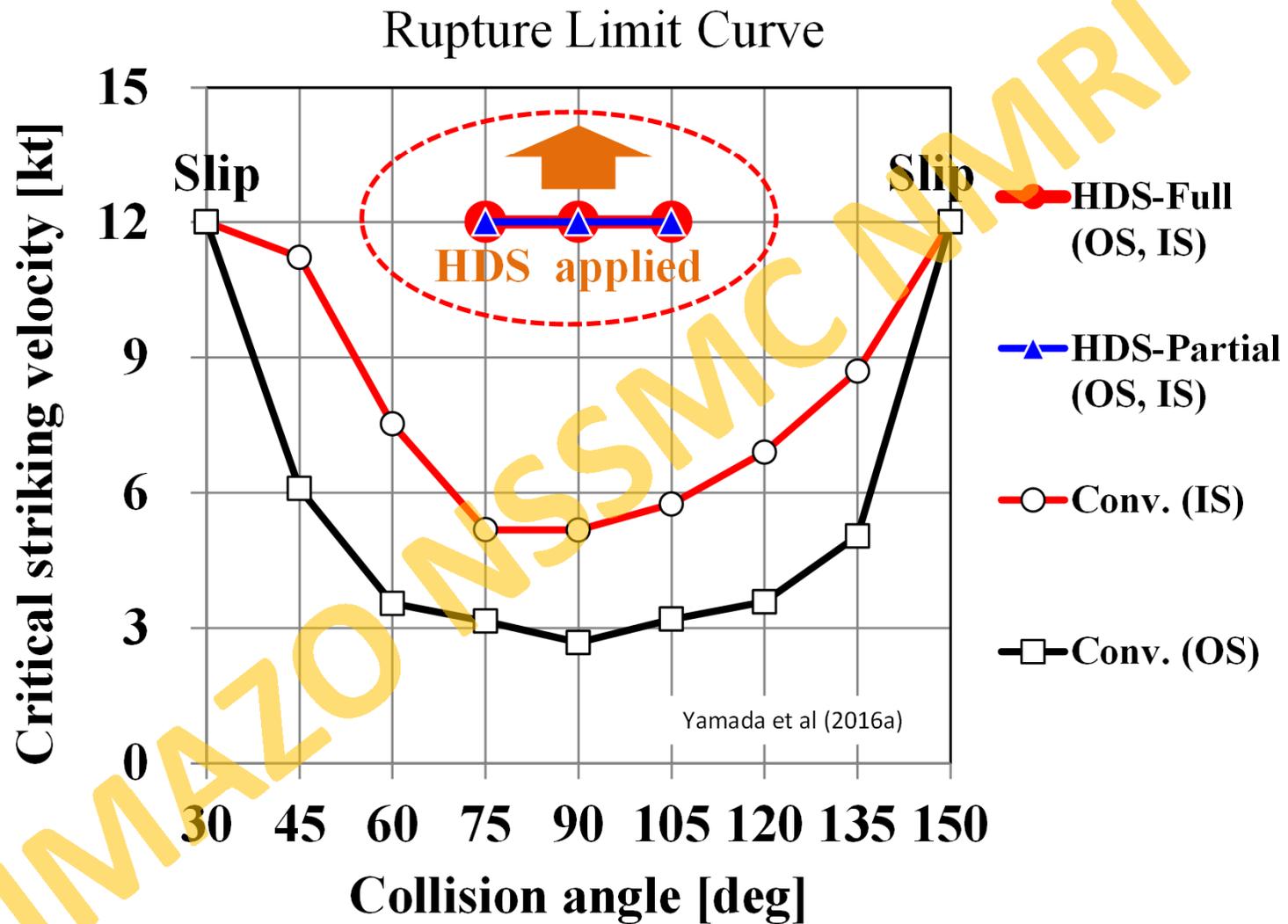
Phase 2 : 解析結果 (Conventional, 150 deg.)



$\theta=30$ 、 150 度では、スリップ状態となり、凹損は生ずるが外板破断は生じない結果となった

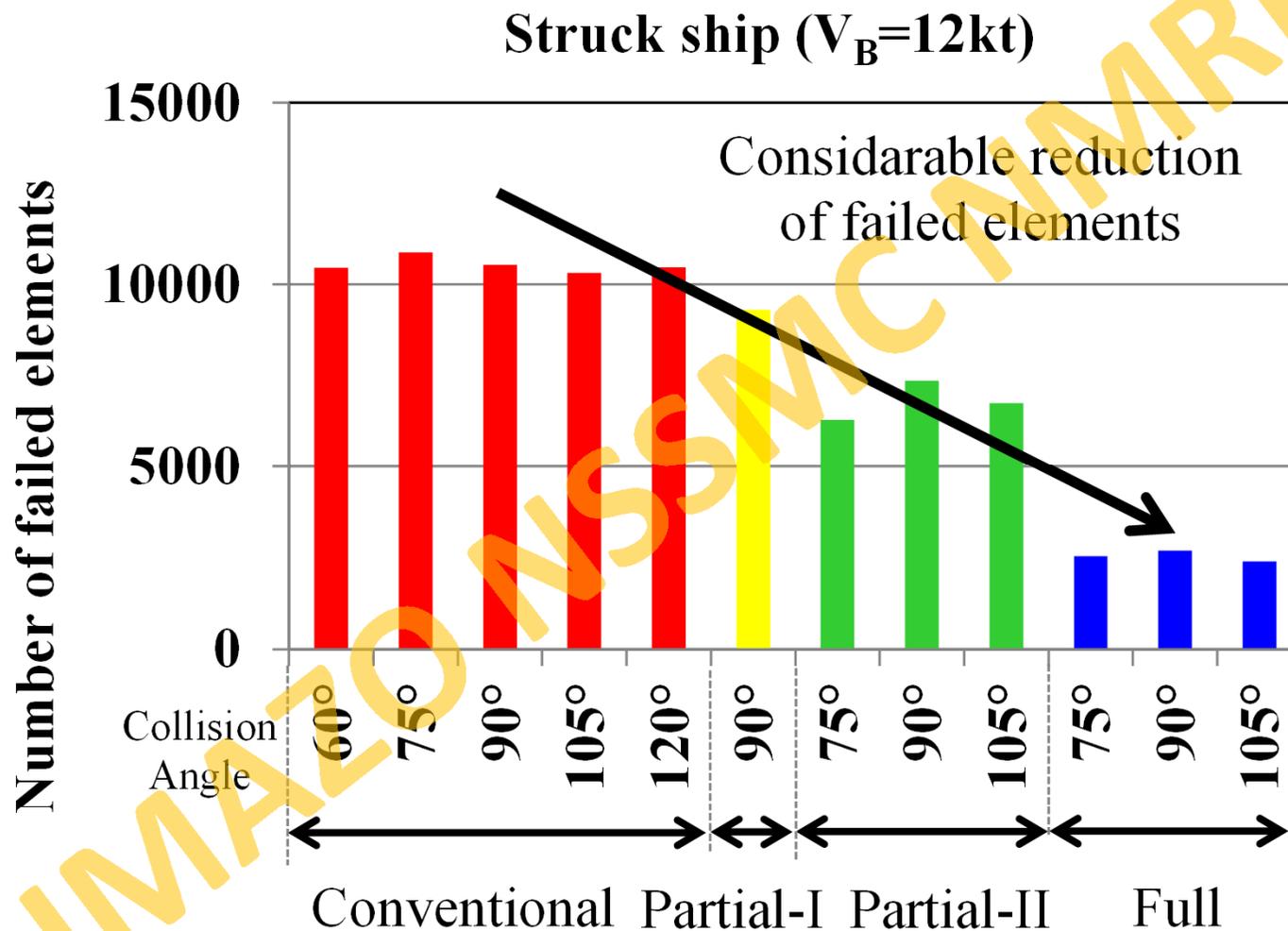
* 海上技術安全研究所にて解析実施

Phase 2 : 限界衝突速度曲線



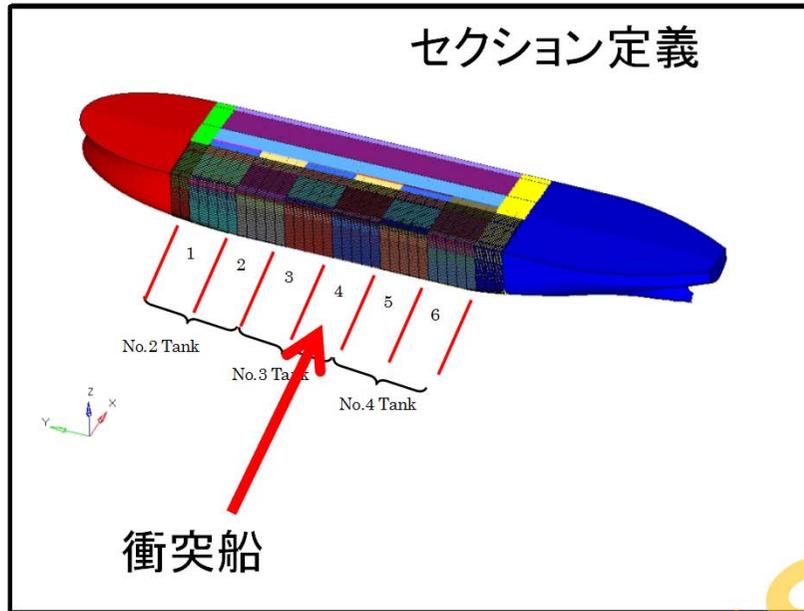
約55ケースの大規模シミュレーション解析を実施して作成

Phase 2 : 被衝突船における破断要素数の比較

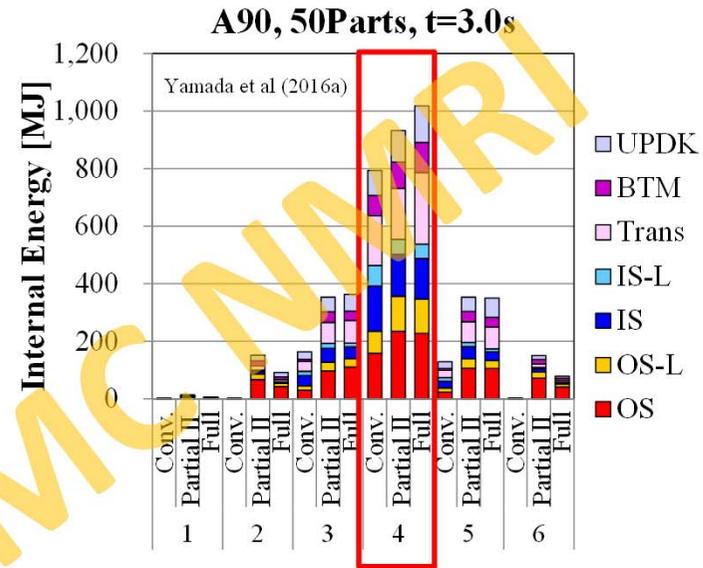


Yamada et al (2016a)

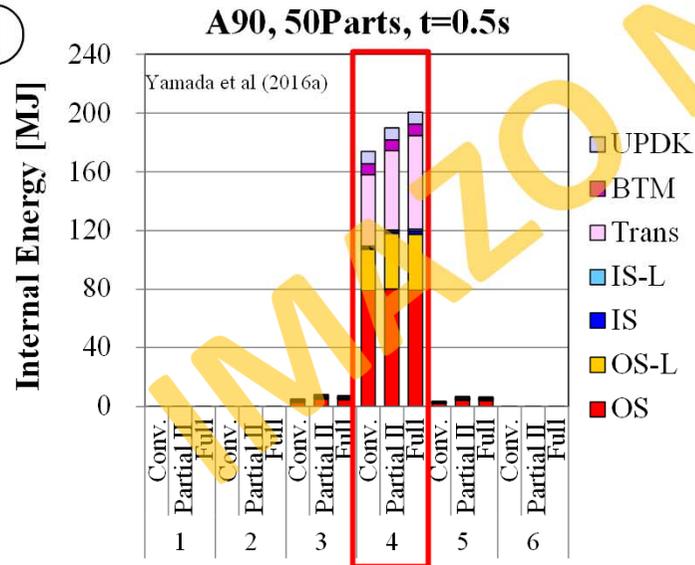
Phase 2 : 船長方向のエネルギー吸収分布



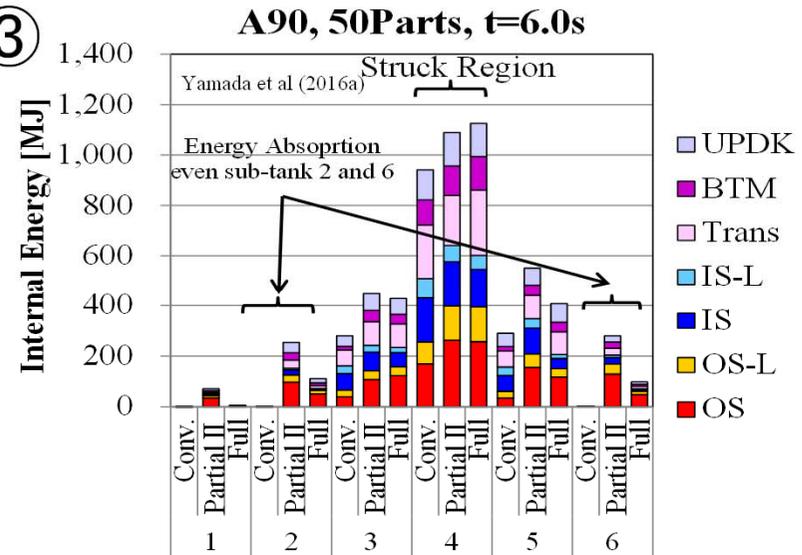
②



①



③



HDSの実船適用

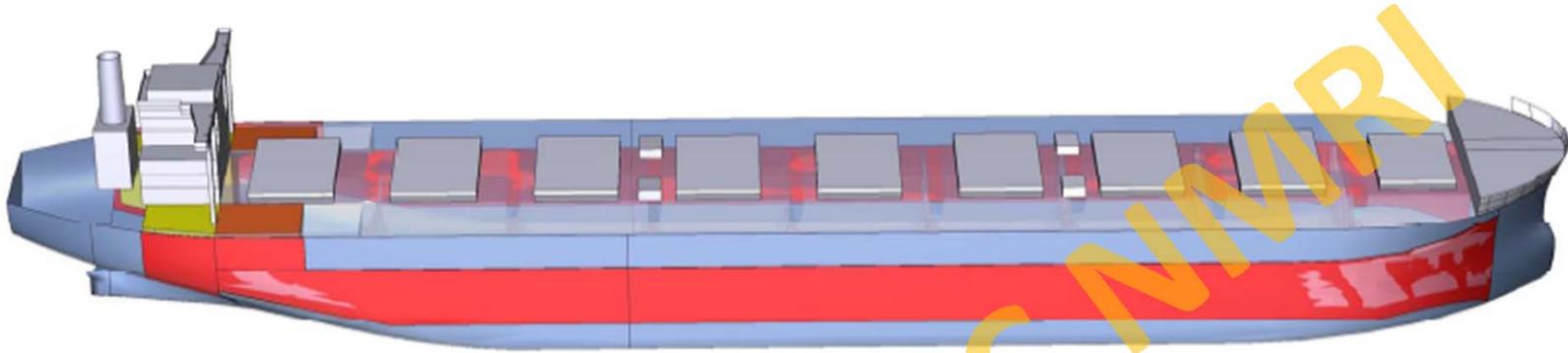
ばら積み貨物船 (Cape size bulk carrier) にHDS (NSafe[®]-Hull) を初めて適用



載荷重量	206,600 t
全長	299.94 m
幅	50.00 m
深さ	24.70 m

現在就航船2隻，建造中及び適用予定船で10隻以上を予定

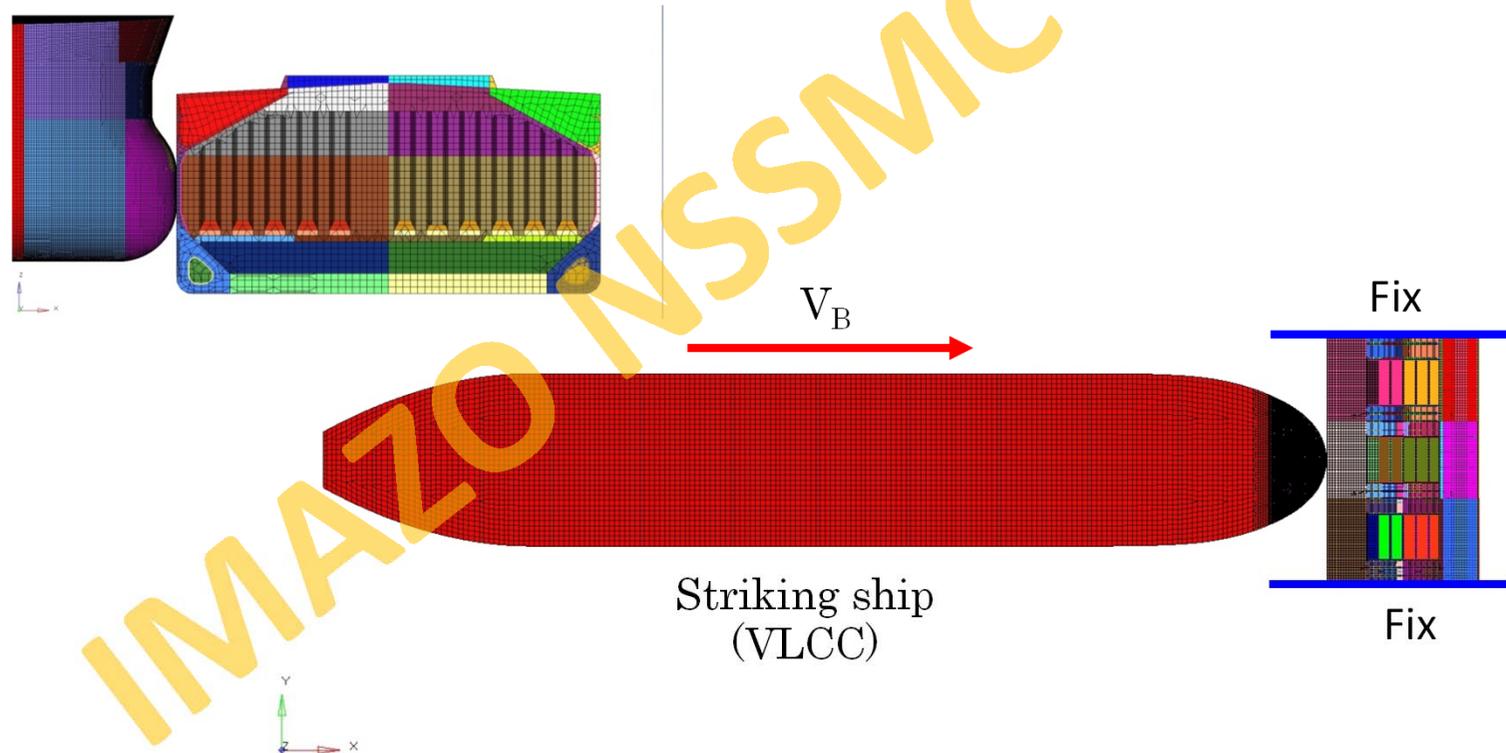
HDSの実船への適用箇所と期待される効果



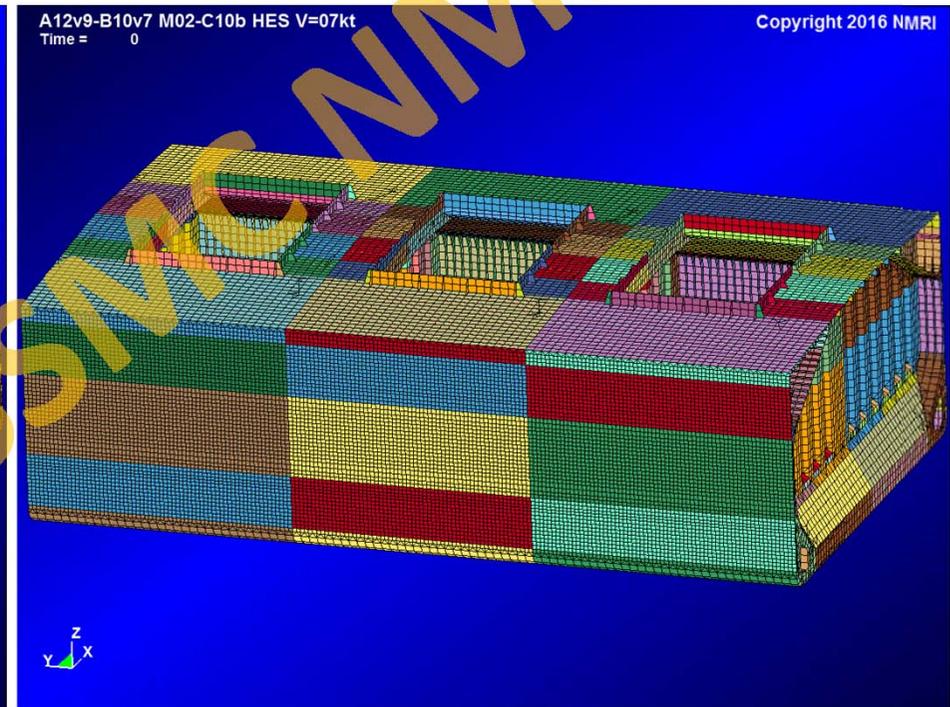
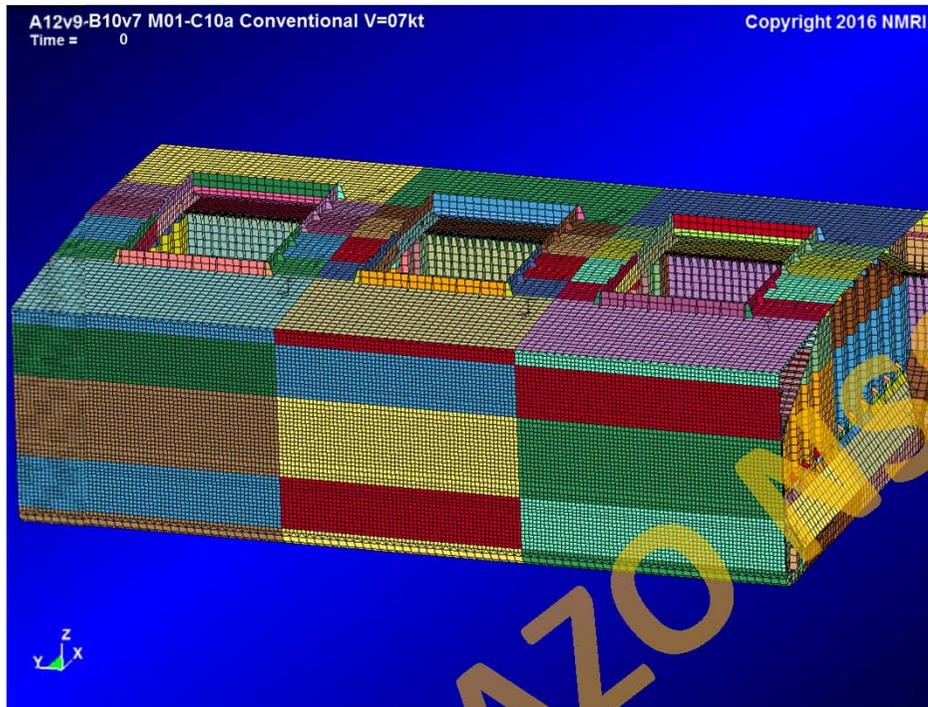
Part	部材名	目的
貨物倉外板部	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Side shell ▪ Hold frame ▪ Side longitudinal stiffener 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 浸水防止 ▪ 貨物保護 ▪ 荷役装置(グラブ等)による損傷
燃料タンク (Top side tank)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Side shell ▪ Top side tank bottom plate ▪ Longitudinal bulkhead plate of fuel oil tank ▪ Side longitudinal stiffener 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 油流出防止 ▪ 荷役装置(グラブ等)による損傷
燃料タンク (Engine room)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Side shell ▪ Longitudinal bulkhead plate of fuel oil tank 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 油流出防止

実船適用箇所に基づく解析

- (1) 解析：動的非線形構造解析
- (2) モデル：衝突船 VLCC全船モデル, 被衝突船 Cape size bulk carrier 3ホールド
- (3) 衝突角度：真横衝突
- (4) 載荷状態：VLCC 部分積載状態, Cape size BC 満載状態
- (5) 境界条件：被衝突船(3ホールドモデル)のT.BHD固定(安全側)



解析結果

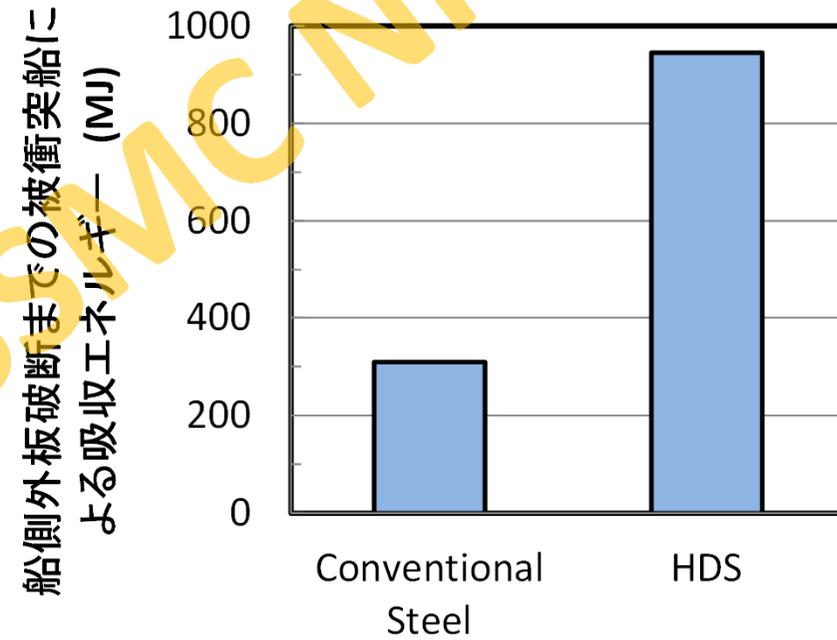
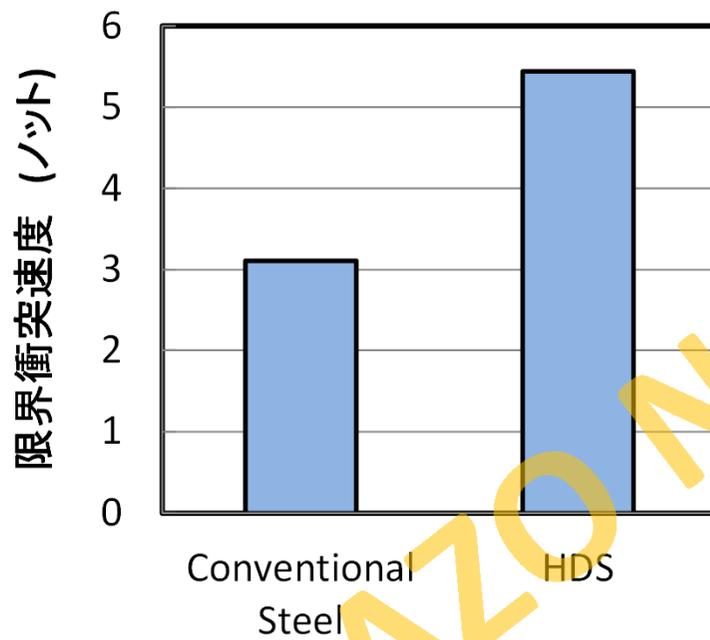


Conventional

HDS

© 2016 IMABARI SHIP BUILDING CO., LTD., NMRI and NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION All rights reserved.
Any disclosure, copying, printing, transmission or distribution of, or any action taken in reliance upon, the information contained in this picture is strictly prohibited.

解析結果まとめ



© 2016 IMABARI SHIP BUILDING CO., LTD., NMRI and NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION All rights reserved.
Any disclosure, copying, printing, transmission or distribution of, or any action taken in reliance upon, the information contained in this picture is strictly prohibited.

Class Notation : HP-HDS

ClassNK Notation

“Hull Protection by Highly Ductile Steel” (HP-HDS)

衝突や座礁に対するエネルギー吸収に効果のあるHDSを適用した船舶に Notationを付記する

Descriptive Note

高延性鋼使用した箇所を記載する

例 : KA32-HD XX applied to side shell plate and side longitudinal within
Fr. XX-XX (or No. X-X WBT)

Material grade of HDS

HDS を個別に承認する “HD XX”

“XX” は規則要求値に対する伸び率を記載する

例 : KA32-HD50 for $15 < t \leq 20$

KA32-HD50の場合、伸び率 27%(規則要求18% × 1.5=27)

まとめ

- 船体用高延性鋼HDSを開発，HDSは従来鋼と同等の強度でありながら，著しく優れた延性を有しており，かつ十分な溶接性と大入熱HAZ靱性を備えている。
- 動的非線形構造解析を用いて油タンカー(VLCC)で各種検証を行い，HDSの効果を確認した。
- 研究過程で得られた知見から，HDS適用範囲を決定し，世界で初めてHDSを実船(Cape size bulk carrier)に適用した。
- HDSをCape size bulk carrierへ適用した範囲でFEモデルを作成し，解析を行った結果，従来鋼に比べ，衝突エネルギー吸収量は約3倍，衝突限界速度は約1.8倍になることを確認した。
- 日本海事協会は衝突や座礁に対するエネルギー吸収に効果のあるHDSを適用した船舶に付与するNotationを制定した。安全性向上に対するNotationは世界初となる。



新日鐵住金

 今治造船株式會社

ClassNK

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology

Thank you for your attention

参考文献

- Yamada, Y., Ichikawa, K., Kamita, K., Tozawa, S., Inami, A., Suga, H., Fujita, H., Senga, Y., Arima T., Murakoshi, S., 2015. “Effects of Highly Ductile Steel on the Crashworthiness of Hull Structures in Ship to Ship Collision”, Proceedings of International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE-2015-41074).
- Yamada, Y., Tozawa, S., Arima, T., Ichikawa, K., Oda, N., Kamita, K., Suga, H., 2016a. “Effects of Highly Ductile Steel on the Crashworthiness of Hull Structure in Oblique Collision”, Proceedings of International Conference of Collision and Grounding of Ships (ICCGS-2016).
- Yamada, Y., Tozawa, S., Arima, T., Ichikawa, K., Kamita, K., Suga, H., 2016b. “Comparative study on the Application of Highly Ductile Steel to the Sides Structures for Improving Structural Integrity of Double Hull Tankers in Ship-Ship Collision”, Proceedings of the 13th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures (PRADS-2016).
- 大川鉄平、紙田健二、船津裕二、山田安平、戸澤秀、市川和利、今城大貴、柳田和寿、石田浩司、2016、“衝突時の被害低減のための船体構造への高延性鋼適用に関する研究(その1)船体用高延性鋼HDSの開発について”、日本船舶海洋工学会春季講演会論文集第22号
- 山田安平、船津裕二、菅勇人、戸澤秀、有馬俊朗、市川和利、紙田健二、稲井智明、2016、“衝突時の被害低減のための船体構造への高延性鋼適用に関する研究(その2)高延性鋼が耐衝突強度に与える影響について”、日本船舶海洋工学会春季講演会論文集第22号
- 紙田健二、稲井智明、市川和利、小田直樹、菅勇人、上西豊、山田安平、戸澤秀、2016、“衝突時の被害低減のための船体構造への高延性鋼適用に関する研究(その3)高延性鋼の実船適用と船級Notationについて”、日本船舶海洋工学会講演会論文集第22号
- Yamada, Y. and Kaneko, F., 2010, “On the Derivation of CATSthr within the Framework of IMO environmental-FSA studies”, Proceedings of International Conference of Collision and Grounding of Ships (ICCGS-2010).