

総合的防食性能向上のための研究開発

テーマ1 NC切断時のエッジ処理技術の研究開発

大阪大学
大沢 直樹

2009年9月18日

目的と背景

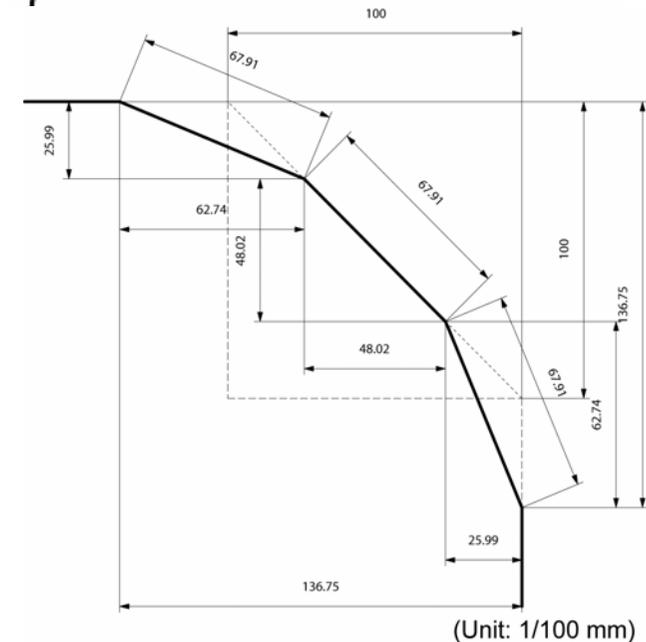
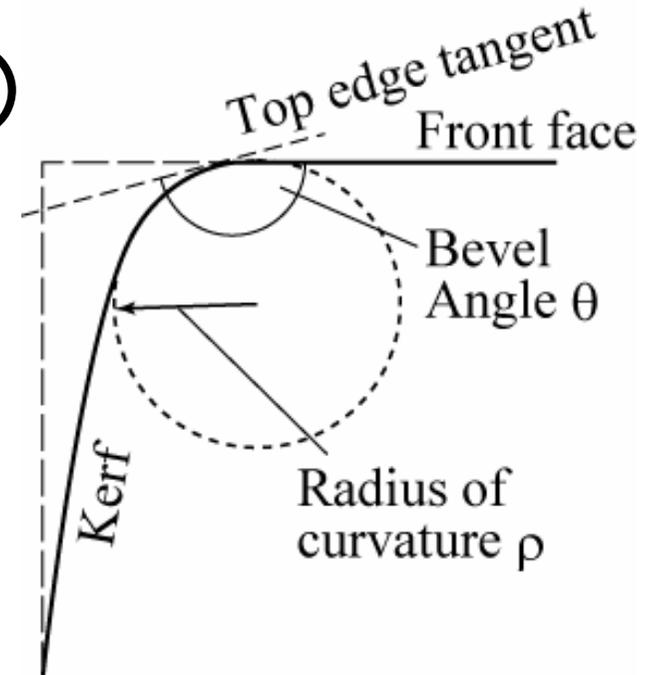
- **2006年12月IMO-MSAにおいてバルスタック塗装性能基準(IMO/PSPC)が強制基準として採択**
 - PSPCエッジ処理基準
 - 2R処理（半径2mm以上の円弧形状），3パスグラインディングまたは同等以上
 - エッジ処理工数が大幅に増大
- **WBT構成部材の大部分はプラズマ切断機で切断される**
 - 切断面の「上縁の溶け」を意図的に生じさせる
 - 切断ままでWBT内構材に使用可能。エッジ処理工数の半減が可能
- **日本船舶技術研究協会「総合的な防食性能向上のための研究開発」**
 - Edge-Preparing Plasma Arc Cutting (EPPAC, R処理機能付プラズマ切断機)を開発
 - 国内造船所の切断装置の大部分を占めている切断装置メーカー2社（小池酸素工業、日酸TANAKA）に現在の装置を大幅に改造することなく処理できる技術開発を委託
- **本報告**
 - 開発したEPPACシステムの概要を説明
 - 開発機による切断面上縁がPSPCエッジ処理基準に適合していることを証明

開発機の要求仕様

- **処理対象エッジ**
 - 裏面エッジ：切断機の大改造が必要，切断速度の大幅低下が必至
 - 表面エッジのみを処理対象にする
- **フリーエッジと垂直断面（溶接線）の区別**
 - 従来のNC切断では，開先の有無しか区別していない。
 - 垂直断面とフリーエッジを区別するNCデータの生成に付加的な工数が必要
 - フリーエッジ・溶接線ともにR処理をしても下流工程に悪影響を及ぼさないよう配慮が必要
 - 過大なRがつくと溶接性・工作性が悪化
 - 上縁の溶け（M）以外はWES2801の1級を保障

R処理機能付切断機の開発(1)

- プラズマ切断面の上縁形状
 - エッジが不可避免的に発生：上面交差角 θ
 - エッジの下方はR形状：曲率半径 ρ
- Kharlamov et al (1976)
 - 上面交差角大，曲率半径大
→ERR（エッジ膜厚保持率）が改善
- PSPCエッジ処理基準：2R or 3-Pass
 - エッジが存在 ⇒ 3-Passが基準
 - 3パス形状： $\theta = 157.5^\circ$
- 従来機で $\theta \geq 155^\circ$ となる切断条件を探索
 - トーチ高さ $H \geq 25\text{mm}$ とすることが必要
 - 過大な H ：散乱光により労働安全性が悪化，切断面精度が低下



R処理機能付切断機の開発(2)

- R処理実現のための技術開発
 - R処理と通常切断の両方を行うためのノズル開発
 - R処理を行う切断条件の作成
 - 突合せ溶接する部分とフリーエッジを有するスロット部が混在するような部材の切り出しのための切断トーチの動作および切断条件を制御するシステム開発
- R処理装置の試作
 - アシストガスの切り替えトーチ
 - アシストガスの切替え装置
 - 切断条件の切替え装置（トーチ高さ、トーチ角度）
- 試作装置による切断試験
 - 最適切断条件選定
 - 造船現場での試行、評価
 - 試作装置の改良
- 切断面精度の確認試験
 - 切断面形状の計測
 - 塗装膜厚の計測

R処理機能付切断機の開発(3)



(a)アシストガスの切り替えトーチ



(b)アシストガスの切り替え装置



(c)トーチ高さの切り替え装置



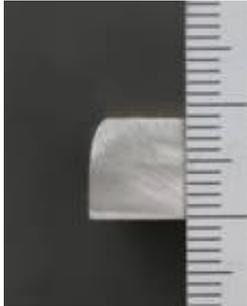
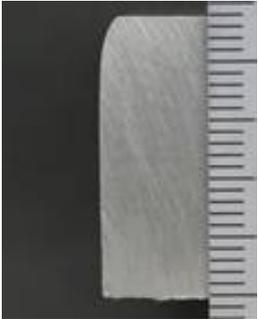
(d) R処理装置改造したNC切断機(1)



(e) R処理装置改造したNC切断機(2)

図 R処理装置の外観

R処理切断面の断面形状

板厚 (mm)	断面写真	トレース 結果	上面交差角 (度)	上面幅 (mm)	上側面幅 (mm)	ヘッル角度 (度)	ドロス (有無)
9			155.4	1.43	4.66	+1	無
16.5			151.2	1.4	4.75	-0.5	無
24			159.7	1.53	4.25	-1	無

R処理切断面のエッジ膜厚保持性能(1)

非対称エッジ形状に適合した膜厚保持率試験

- EPPAC切断面
 - 上面交差角 $\theta \geq 155^\circ$: 3-pass断面と同等以上
 - エッジの片面が平板でなく曲面
 - 上縁部の曲率半径 $\rho < 1\text{mm}$
 - θ の値のみで膜厚保持性能を判定できない
- EPPAC切断面と3-pass試験片のERRを比較して, PSPCエッジ処理基準を満たすことを示す
- 船舶用塗料のERR試験規格: MIL-PRF-23236C
 - 直角アングルに対称にスプレーしてERRを計測
 - EPPAC切断面: 非対称エッジ形状
 - スプレー噴射方向とエッジ頂点のなす角が変化
 - ERRとエッジ形状の精密な評価が困難

R処理切断面のエッジ膜厚保持性能(2) 非対称エッジ形状に適合した膜厚保持率試験

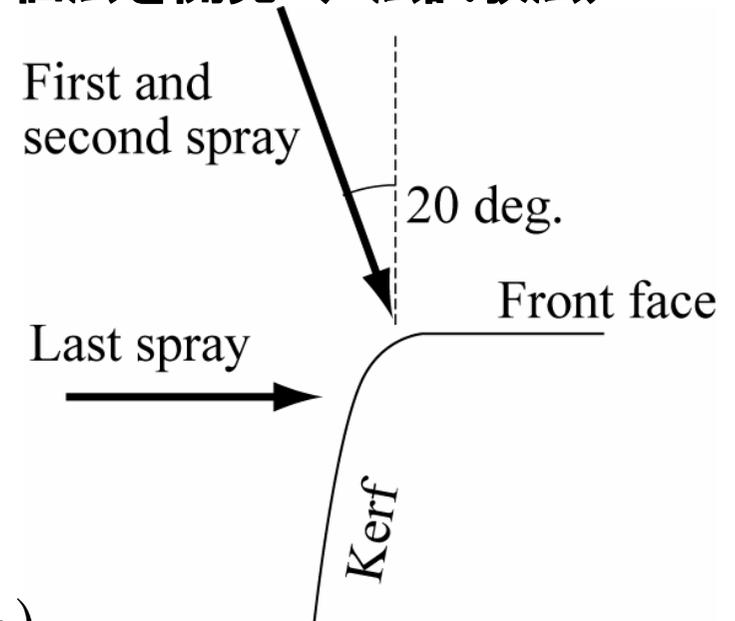
- 長野ら(2009)：非対称エッジ上縁角のERR評価法を開発（P法試験法）
 - 板表面と20度の方向から2回スプレー
 - 切断面方向から1回スプレー
 - 現場スプレーマンの施工要領を再現
 - 板表面，切断面で概ね等しいDFT

ERRの評価

- dft (edge on the plate face) 上縁エッジ頂点
- dft (flat) 板表面
- 側面ERR (Side ERR)

$$\% \text{Retention} = \frac{\text{dft}(\text{edge on the plate face})}{\text{dft}(\text{flat})} \times 100$$

- 高田ら(2009)：P法試験法により，R止り形状のERRと上面交差角の関係を精密に評価できる
- EPPAC断面：R止り形状に類似 ⇒ P法試験法を採用



R処理切断面のエッジ膜厚保持性能(3) 計測対象

- ショッププライマ鋼板, $t=8\text{mm}, 12\text{mm}, 16\text{mm}$
 - EPPAC断面 (切断機メーカーA, Bの開発機で切断)
 - 切断速度: メーカー推奨値(V2), $\pm 10\%$ (V1, V3)
 - 一部試験片は1パスグラインディングを施工
 - 試験片番号: (A|B) tt V v [G]-# ex: A08V2-2, A08V2G-1
 - 3-pass grinding edge (C造船所, D造船所で手作業で作成)
 - 試験片番号: (C|D) 3P-# [-#] ex: C3P-1, C3P-1-2
 - ブラストを打つとエッジ形状が変化して, 上縁形状差の影響が不明確になる
 - エッジ部に当るブラスト量を定量的に評価するのは困難
- 
- ブラストを省略し, ショッププライマに直接上塗りを行った

R処理切断面のエッジ膜厚保持性能(4)

試験条件

- 塗料, 塗装装置

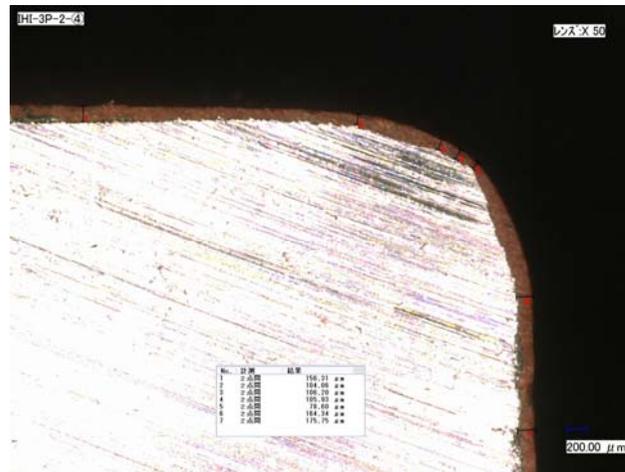
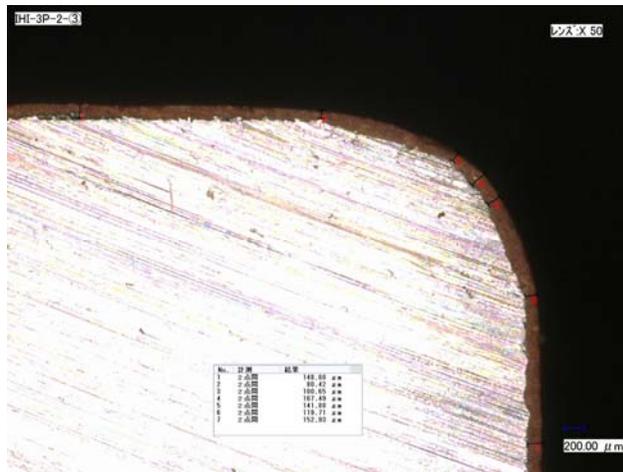
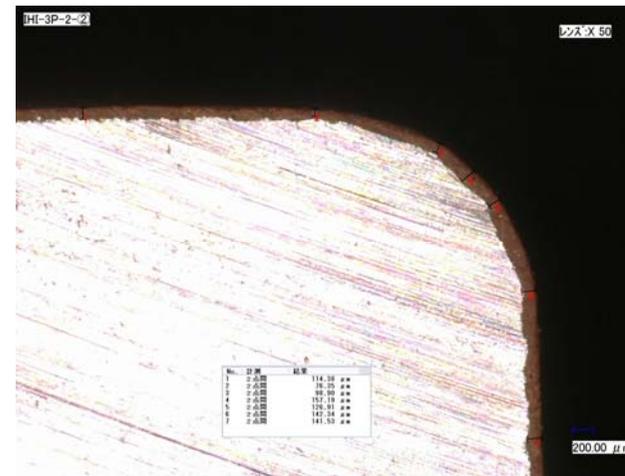
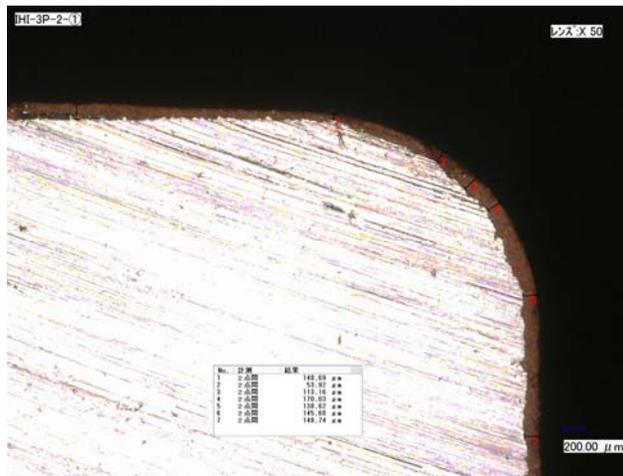
Applied coating material	
Type of binder	modified epoxy
Viscosity	1.7 Pa·s
automatic painting apparatus	
Airless pump pressure (the 2nd stage)	90~120 MPa(g)
Working distance	370 mm
Trip transfer velocity	450 mm/sec
Spray nozzle tip	#521

- 面膜厚：電磁膜厚計 Elekto Physik MiniTest2100**
 - エッジから10mm位置で計測
- 上縁エッジ膜厚：KEYENCE VH8000, ×50**
 - 試験片から4断面を切出し, 砥石で研磨して計測

R処理切断面のエッジ膜厚保持性能(5)

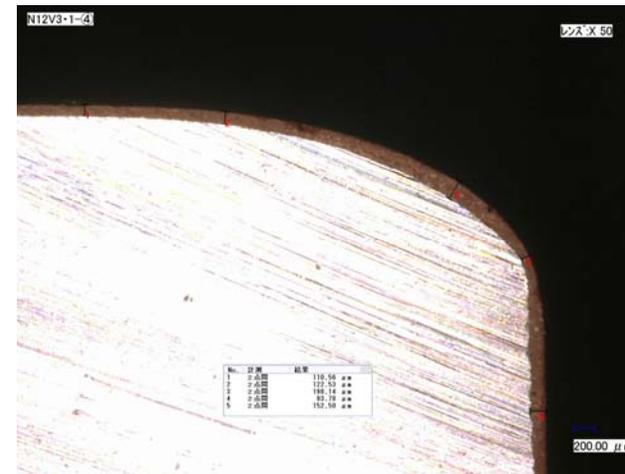
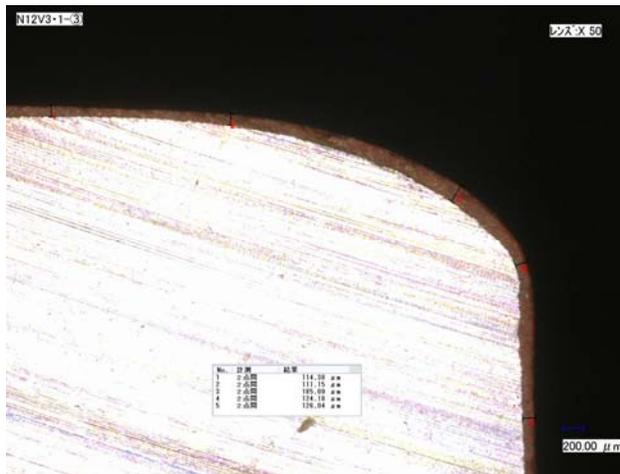
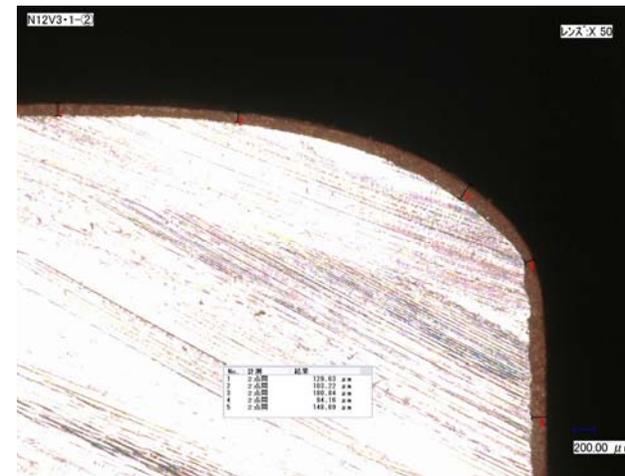
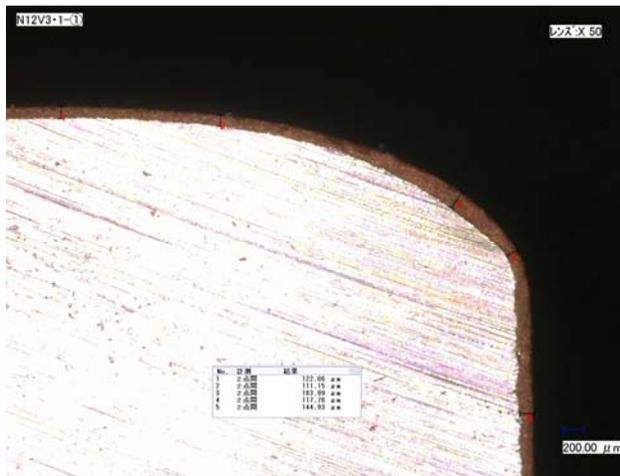
3-pass 試験片C-3P-2の断面写真

- 同一試験片でエッジ形状が大きく変化
- 各断面のERRを個別のデータとして扱う



R処理切断面のエッジ膜厚保持性能(6) EPPAC断面試験片B12V3-1の断面写真

- 試験片内でほぼ同一の断面形状
- 4断面の平均を試験片ERRの代表データとする

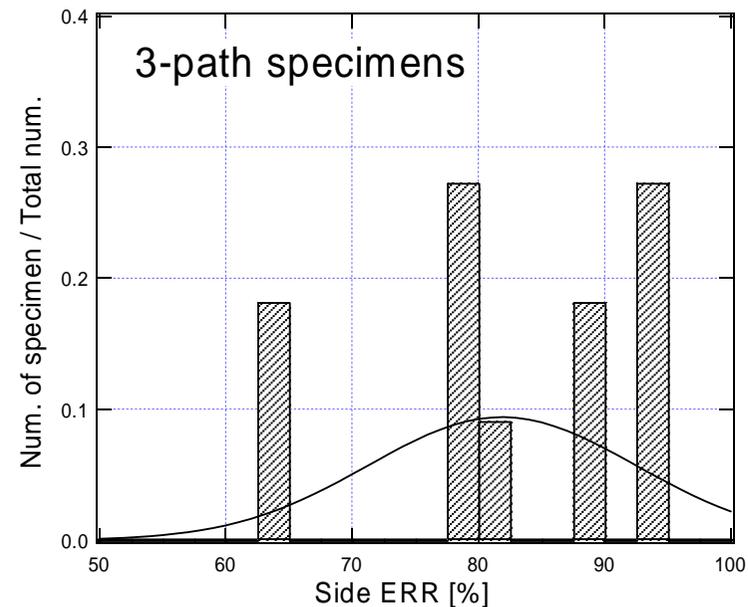
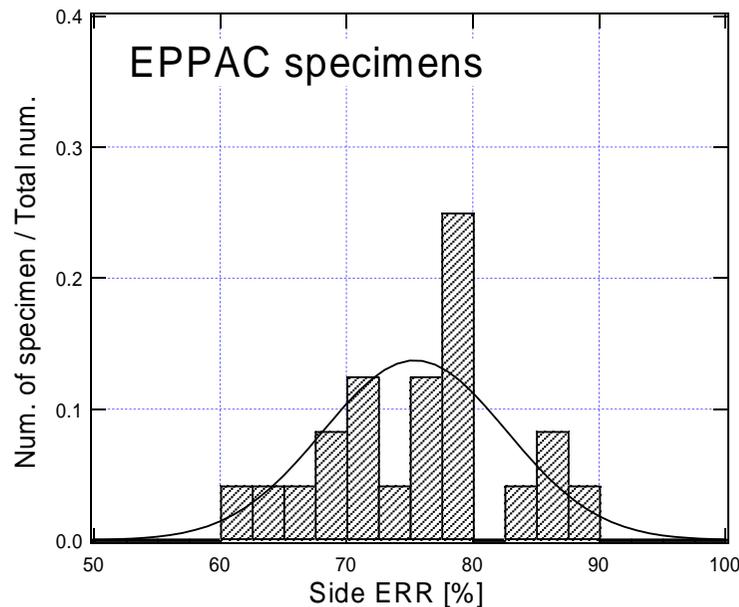


R処理切断面のエッジ膜厚保持性能(7)

ERRの頻度分布:EPPAC vs. 3-pass

- ERRの平均値：EPPAC < 3-pass, $\mu - 2\sigma$: EPPAC \doteq 3-pass
- エッジ膜厚の最小値はEPPAC \doteq 3-pass
- EPPAC断面のエッジ膜厚保持性能は3-passと同等
- EPPAC断面は, PSPCエッジ処理基準に適合している

Name	μ	σ	C.V.	$\mu - 2\sigma$
EPPAC	75.40%	7.30%	9.60%	60.90%
3-pass grinding	81.90%	10.60%	13.00%	60.60%

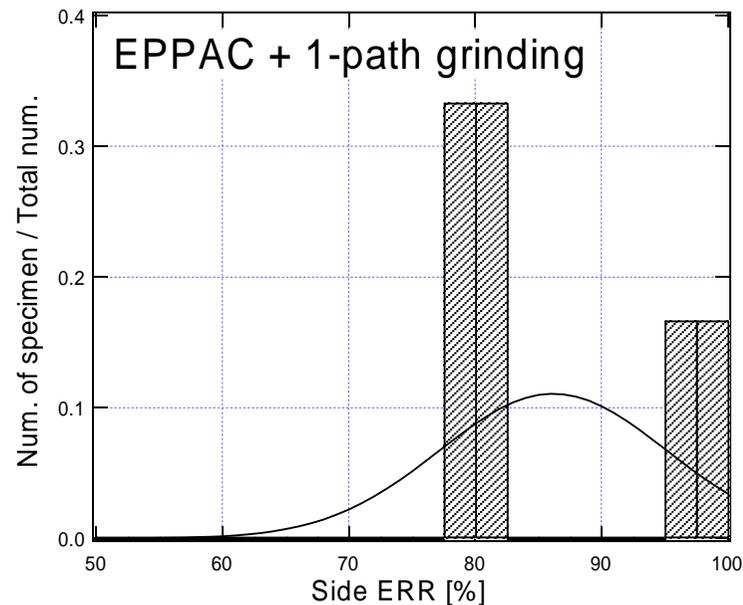


R処理切断面のエッジ膜厚保持性能(8)

側面ERRの頻度分布:EPPAC + 1-pass

- ERRの平均, $\mu-2\sigma$ とも, EPPAC+1-pass >> 3-pass
- EPPACシステムを使用すれば, 3-passの1/3の工数で, PSPCエッジ処理基準を大幅に上回るエッジ膜厚保持性能が得られる

Name	μ	σ	C.V.	$\mu-2\sigma$
EPPAC	75.40%	7.30%	9.60%	60.90%
3path grinding	81.90%	10.60%	13.00%	60.60%
EPPAC + 1path grinding	86.20%	9.00%	10.50%	68.20%



研究開発の成果

- 上面交差角を3パスグラインダ処理に相当する157.5度にすることを目標とし、各板厚毎に最適条件を設定した結果、目標値に近いエッジ角を得ることが可能となった。
- 既設の切断機を大幅に改造することなく、NC切断時のエッジ処理が可能な装置の開発を行い、実際の改造は切断条件の自動切替等の簡単な改造のみ。尚、エッジ処理時の切断速度は、通常切断速度と同等である。
- エッジ処理したR部の膜厚保持性能を長野ら(2009)の側面ERR法でエッジ膜厚保持率を評価した結果、側面ERRの平均値はエッジ処理<3パスグラインダ<エッジ処理+1パスグラインダの順に大きいが、95%信頼区間下限はエッジ処理が3パスグラインダより僅かに大きくなる好結果が得られた。
- エッジ処理したフリーエッジは、グラインダ処理なしでIMO/PSPCに適合していると思われるが、エッジ処理+1パスグラインダは、IMO/PSPCの定める3パスグラインダを大幅に上回るエッジ膜厚保持率を有する。
- エッジ処理が溶接作業に与える影響について試験を行った結果、作業性及び溶接性能については、特に重大な問題が無いことが確認された。

波及効果および今後の課題

- 今後の造船業における工数増を抑制し、品質の高い船舶を建造するために、切断と同時にフリーエッジ部上面をR形状に切断するための上面エッジ処理技術が確立された。
- 期待される波及効果
 - IMO/PSPC塗装基準で要求される大幅な工数の増大を抑制できる。
 - フリーエッジ作業の個人差が無くなり、塗装品質の向上が図れる。
- 今後の課題
 - PSPCのエッジ処理要件として、本技術のオーソライズが必要であり、IMO等への提案や技術普及の広報活動が必要である。
 - 現場での実績データの蓄積により、技術の向上を図っていくことが重要である。
 - 上面のエッジ処理だけでは工数削減効果が半分であり、将来的には下面のエッジ処理技術の開発が重要な課題である。

おわりに

- 本研究開発は、IMOにおけるPSPCの強制化に伴い、防食性能の向上とわが国造船業の国際競争力の維持を目的として、日本財団の助成事業として実施した。
- 本研究の塗装試験は、中国塗料（株）大竹研究センターで実施され、実験・計測にあたって古本悟氏（中国塗料（株））および日本船舶海洋工学会“塗装品質と船殻工作品質の関係に関する研究委員会”WG1委員各位のご助力を賜った。
- 今後は、本技術の普及に努め、切断精度向上のための継続的な技術向上や下面側エッジ処理技術の開発を行う必要がある。

