

[様式2 (汚染水処理対策委員会に報告し、一般公開となるものです)]

御提案書	
技術分野	(1)
御提案件名	貯蔵タンクの汚染水漏れ防止に対する信頼性・耐久性の向上
御提案者	Kubota Research Associates, Inc. 久保田雅則
<p>1. 技術等の概要 (特徴、仕様、性能、保有者など)</p> <p>特徴: 反応性の高い濃塩水などの液体を貯蔵する鋼製タンクに於いて、溶接部位やフランジ嵌合部位などの繋目は化学物理および電気化学反応による錆などによる右の写真の様な穴開き (ピittingコロージョン) や薄肉化などの構造劣化が発生、結果として経時的に液漏れを起こす。(図1は、7月3日付東電が発表したALPSのバッチ処理用ステンレス製タンク2Aの溶接部に於ける穴開き)</p> <p>抜本的対策は、溶接部やフランジなどの嵌合部など繋目の無い、腐食しない一体成形でタンクまたは一体成形で作られている腐食しないライナー装着型タンクである。海辺に設置される鋼製タンクは、更に海岸からの塩害も加わり鋼材は内外から腐食が進み易い。亜鉛化処理や防食ペンキで行う通常の錆止め加工は、電気化学反応、紫外線や放射線劣化などで経時劣化が進むことから、タンクの内外の点検保守は避けられない。</p> <p>ここで提案する技術は、反応性の高い液体や高圧ガスを安全に長期間貯蔵用のタンクに関するもので、航空宇宙や化学工業産業などで多くの実績のある一体成形構造を有する、繋目の無い繊維強化複合材製タンクである。既存の鋼製タンクの内側にライナーとして成形する事で、タンクの液漏れ防止や防錆などの高度化や構造補強が可能で、長期間の保守を不要とする。現在福島第一原発で使用されているフランジ型タンクに、一体成形の複合材タンクライナーを装着すれば、液漏れやボルト類の弛みも解消され、タンクの剛性や信頼性が大幅に高まる事からフランジ型タンクも廃棄する必要がなく再利用する事で、限られた敷地の有効活用が可能となる。またタンクの除染、解体、再組み立てが可能であれば、地底深くに基礎を構築した後に再度タンクを組み立て、更にその上にタンク壁面を増築し、一体成形の繊維強化複合材製タンクライナーで内部から補強すれば、強度や液漏れ防止に対する信頼性が大幅に向上し、タンクの貯蔵容量が大幅に高まり敷地の有効活用に繋がる。</p> <p>常温硬化型複合材の成形は、現地でも成形加工が可能で有るが、加工時の温度で硬化時間が大きく左右される。特に高耐水・耐薬品・耐候・難燃性を目的として設計・開発され、多くの実績が有るラジカル重合型変性エポキシ樹脂を用いる場合は硬化に長時間を要する。当該プロジェクトは、現場施工と緊急性を要するので、高い温度管理の下で迅速硬化処理を行う。多くのタンクに短時間で加工処理する必要がある事から、高い実績を誇る</p>	
	 <p>図1 ライブラリー点検結果 (5) より転載 東電7/3/23</p>
	

P-Wave™装置と P-Wave/PTIR™ IR Assisted Advanced Out of Autoclave (OOA) 複合材成形技術を用いて迅速硬化成形処理をする。

仕様：当該プロジェクトで使用する予定の鋼・複合材ハイブリッドタンクの構造は、右図に有る通り構造材の一部として既存の鋼製タンクを用い、タンク内面にはシームレスで耐薬品性の高い変性エポキシ樹脂繊維強化複合材タンクライナーを設けた物であって、地震対策として超軽量繊維強化複合サンドイッチ構造材の消波浮き蓋を有するものとする。タンクの外装は耐薬品性、耐候性、耐紫外線性で35年の実績を持つ特殊フッ素樹脂などを鋼材の防錆対策として焼き付け、10年間保守作業を不要とする。

耐薬品性変性エポキシ樹脂繊維強化複合材ライナーの仕様は、強化繊維含有率：40%強で複合材部の肉厚は6mmとする。耐薬品性変性エポキシ樹脂繊維強化複合材タンクライナーは、円柱部から底板まで繋ぎ目の無い一体成形で、底板の形状は沈殿物処理の手法により掻き取り用平円板状底板や流水洗浄用に対応した排水口に合わせたV字形状底板とする事が出来る。排水バルブは既存の仕様物を基に、重耐蝕処理を行った後に耐薬品性変性エポキシ複合材タンクライナーで埋め込む事が可能で有る。地震などの震動で発生する波打ちを抑制・消波し、液漏れやタンクの構造破壊を防止する浮き蓋は発泡コアサンドイッチ複合材製で、別途必要に応じて製造が可能で有る。

性能：耐薬品性変性エポキシ樹脂繊維強化複合材ライナーの性能は、複合材部の強度は、引張り強度：200 MPa、引張り弾性率：9800 MPa、曲げ強度：190 MPa、曲げ弾性率：7900 MPa。

タンクの最外層の性能は、酸素透過性 $< 1 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{day bar at } 25^\circ\text{C}$ 、水蒸気透過性 $< 1 \text{ g}/\text{m}^2/\text{day bar at } 40^\circ\text{C, RH } 90\%$ 。

化成品高圧反応釜内に於いて、無補修で錆止め耐性25年の実績が有る。

外装用塩害防止コーティングの性能は、耐紫外線や耐透湿性 Weatherability に於いて、無補修で25年以上の耐久性が確認されている。

保有者：当該プロジェクト向けに提案する技術の保有者は Kubota Research Associates, Inc. で、複合材研究に於いて全米トップとされている University of Delaware Center for Composite Materials と共に、新素材と革新的な加工技術を航空・宇宙、軍需産業向けに開発しているエンジニアリング会社である。施工技術や複合材などの素材に関する知財は、米国 Kubota Research Associates, Inc. が保有していて、仔細は安全保障貿易の観点から米国政府による許可無しでは一般公開は行えない。当該技術は米国内で開発された物であり、米国 Export Administration Regulations (EAR) の対象である。

2. 備考（以下の点など、可能な範囲で御記入いただけますようお願いいたします）

- ・ **開発・実用化の状況**（国内外の現場や他産業での実績例、実用化見込み時期を含む）
複合材タンクは、高圧水素などの燃料タンクとして NASA などでも採用されている他、

世界中の化学プラントで使用されている。複合材による構造補強は、日本でも橋梁補強やトンネルの補強で実績が有る。対象となる特殊フッ素樹脂による防錆加工は、多くの化学プラントの高圧高温反応釜や攪拌装置などの防錆焼付け加工用として25年以上の実績を持っている。

当該プロジェクトのように、作業者に対する被曝線量を低く抑えるには、現場に於ける迅速な加工処理や施工が必要不可欠である。米国 Kubota Research Associates, Inc. の P-Wave™装置と P-Wave/PTIR™ IR Assisted Advanced Out of Autoclave (OOA) 複合材成形技術は、航空機体の高速製造や機体に対する小部品の敏速接着用として米海軍よりの委託研究で軍需・民需用に開発した物で、通常7日間以上要していた構造用熱硬化性樹脂をわずか5分間で全硬化した実績が有る他、日本の経済産業省が中小企業向けに行っている補助事業「戦略的基盤技術高度化支援事業」の採択企業が、自動車用複合材の高速成形や繊維強化複合材によるトンネル内高速補強を実証している。

当該高耐薬品性変性エポキシ樹脂繊維強化複合材ライナーのタンクへの加工は、東京電力および IRID の方針により三通りの実用化が考えられる。1) 簡易除染済みフランジ鋼製タンクの活用、2) 完璧な除染済みおよび未使用の鋼製タンクの活用、3) 既存の高さ10mの鋼製タンクを20mに改築し、全高中の約半分を地中に埋設し活用する方法。

1) 簡易除染済みフランジ鋼製タンクの活用の場合、新たに同一タンクを購入して成型型として使用してシームレスな高耐薬品性変性エポキシ樹脂繊維強化複合材ライナーを製造・離型後、クレーンによって引き抜いて対象となるタンクに挿入する。隙間には耐薬品性変性エポキシ樹脂又は必要に応じて耐薬品性変性エポキシ樹脂に含浸された鉛粉などの放射性遮蔽物を充填する。

2) 完璧な除染済みおよび未使用の鋼製タンクの活用を行う場合、対象タンク内で高耐薬品性変性エポキシ樹脂繊維強化複合材ライナーを一体化成形する。

3) 既存の高さ10mの鋼製タンクをより高く、例えば20mに改築し、全高中の約半分を地中に埋設して活用する場合は、1)と同様な工程の他に鋼製タンク壁面強度に対する確認作業やエンジニアリングが必要となる。

変性エポキシ樹脂のラジカル重合は、高い耐薬品性が得られる全硬化には通常1年以上要する。このために実績の有る P-Wave/PTIR™ IR Assisted Advanced Out of Autoclave (OOA) 複合材成形技術を使用して全硬化に要する時間を大幅に短縮する。

実用化見込み時期：当該技術は既に実証・実用化されているが、福島第一原子力発電所に於ける使用環境や要求仕様を満たすためには以下の機材部品の開発が必要である。

この為に現場に於ける施工開始には、受注契約後約6ヶ月前後を要する。ただし、新型の高エネルギー密度 P-Wave™ 製造期間中に、基材となるタンクの表面処理を含む前加工は可能で有るので、全体の工期に対する影響は少なく抑える事が可能で有る。

当該プロジェクトで使用する予定の機器・資材のうち、

- 1) 複合材タンクライナー用の成形型用タンク（受注後約3ヶ月）
- 2) フッ素樹脂防錆焼き付け用 P-Wave™照射加熱装置（受注後約3ヶ月）
- 3) 複合材タンクライナー製造用 P-Wave™照射加熱装置（受注後約3ヶ月）
- 4) 強化繊維布（受注後約3ヶ月）
- 5) 特殊変性エポキシ樹脂（受注後約3ヶ月）

米国 Kubota Research Associates, Inc.の P-Wave™照射加熱装置と P-Wave/PTIR™ IR Assisted Advanced Out of Autoclave (OOA) 複合材成形技術は、炭素繊維強化熱可塑性多層複合材シートや成形用、自動車用炭素繊維強化熱硬化性サンドイッチ複合材部品の迅速加工用および鉄道用トンネルなどのインフラ構造物の高速複合材補強加工向けとして、経済産業省の戦略的基盤技術高度化支援事業の複数の採択社によって採用されている。その他、航空機体に対する小部品の迅速接着技術として、全硬化に1週間以上要する樹脂を10分未満で全硬化する同技術は、U.S. Navy Naval Air System Command、航空機や船舶メーカーで実証されていて技術認定がなされている。

当該アプリケーションに於いては、高融点の特殊フッ素樹脂を用いる事から、現在日本国内に有る P-Wave™ 照射加熱装置に対してより高エネルギー密度の P-Wave™ 照射加熱装置2機種を製造する必要がある。複合材の物性は最終仕様によって変わるため、確認テストなどが必要で有る。

・ 開発・実用化に向けた課題・留意点

通常、複合材を含む樹脂類の加工、特に焼き付け加工は設置型オーブン内で行う必要があるが、大型タンクは輸送が困難なために現場で組み立て溶接加工、焼付け加工を行うため、移動型加熱装置が必要になる。樹脂の焼付けでは、熱容量の大きな基台温度を樹脂 Tg 以上に高める必要があり、樹脂の温度は融点以上でピンホールなどが発生しないように熔融樹脂フローが発生する温度にする必要があり且つ樹脂の熱分解温度以下で有る必要がある事から、加工に於いて高度な熱管理が必要になる。P-Wave/PTIR™ IR Assisted Advanced OOA 用が開発された装置は、幸いにして非接触型センサーを用いた PID クローズドループ制御装置が組み込まれているが、現在日本国内に有る P-Wave™照射加熱装置では対象とする特殊フッ素樹脂の加工にはエネルギー密度が足りない。従って、新たなエミッターと光学系を用いた高エネルギー密度の P-Wave™照射加熱装置を製造する必要がある。

・ その他（特許等を保有している場合の参照情報等）

施工技術や複合材などの素材に関する知財は、米国 Kubota Research Associates, Inc.が保有しており、安全保障貿易の観点からも一般公開は行わない。

- P-Wave™ Through Transmission Infrared (TTIR) Welding 技術は、Frost & Sullivan より 2005 Technology Innovation of the Year Award が授与された。
- P-Wave/PTIR™ IR Assisted Advanced Out of Autoclave (OOA) 複合材成形技術は、米海軍に

より 2012 年 6 月に Recognition Award が授与され、2013 年 8 月に先端材料技術協会 SAMPE Japan より先端材料技術賞が授与された。

(備考) 技術提案募集の内容 (6 分野)

- ① 汚染水貯蔵(タンク等)
- ② 汚染水処理(トリチウム処理等)
- ③ 港湾内の海水の浄化(海水中の放射性物質の除去等)
- ④ 建屋内の汚染水管理(建屋内止水、地盤改良等)
- ⑤ 地下水流入抑制の敷地管理(遮水壁、フェーシング等)
- ⑥ 地下水等の挙動把握(地下水に係るデータ収集の手法、水質の分析技術等)