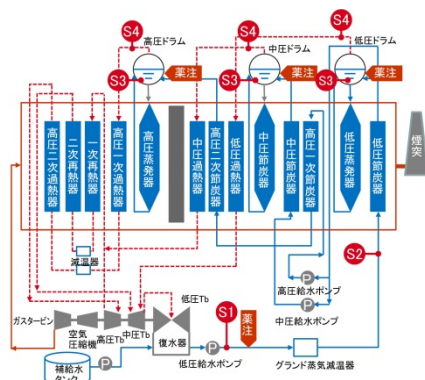


火力発電プラント水処理の現状と新技術 (脱ヒドラジン, JIS 改正, 水質診断)

Current Status and New Technology of Water Treatment in Thermal Power Plants
(Non-Toxic Oxygen Scavenger, Japanese Industrial Standard Revision,
Water Quality Diagnostic)



赤嶺 博史*1
Hiroshi Akamine

田村 真吾*2
Shingo Tamura

中本 充*3
Mitsuru Nakamoto

椿崎 仙市*4
Senichi Tsubakizaki

中土 雄太*5
Yuta Nakatsuchi

澤津橋 徹哉*6
Tetsuya Sawatsubashi

火力発電プラントにおいてプラント水処理は、ボイラ・タービン系統内での腐食発生、スケール生成・付着、タービンへのキャリーオーバーなどの障害を防止するために実施されている。ボイラ・タービンの要求水質は、JIS B8223 において規定されており、新知見による定期的な改正に三菱パワー株式会社(以下、当社)も参画している。また、当社は、重大な問題が発生する可能性のある予兆の早期発見や、プラントの効率改善に寄与する取り組みとして、『TOMONI 水質診断』システムを開発し、実機適用を拡大している。

1. はじめに

火力発電プラントにおいて、プラント水処理は、ボイラ・タービン系統内での腐食発生、スケール生成・付着、タービンへのキャリーオーバーなどの障害を防止するために実施されている。日本工業標準調査会一般機械部会に設置された“ボイラの給水及びボイラ水専門部会”において水質基準に関する審議が行われ1961年2月に、JIS B8223“ボイラの給水及びボイラ水の水質”が制定された。JIS B8223 に制定されている火力発電プラントにおけるボイラ・タービンの要求水質は、現在、運転の実績や新技術、機器不適合などを反映して定期的に改正が行われており、当社も JIS の改正に参画している⁽¹⁾。

JIS 改正において、海外で使用が制限されている発がん性が懸念されているヒドラジンを使用しない水質基準が 2015 年に制定され、国内でも広く適用されるようになってきた。さらに、FAC(流れ加速型腐食)やりん酸塩腐食抑制、制御弁・給水加熱器などへのスケール付着対策として、当社が国内外のプラントへ適用してきた High-AVT(LO)水処理も JIS に採用され、現在、適用が拡大している。

また、近年水質異常の要因が主系統だけではなく、プラントへ供給される補給水(純水)もしくは原水にもあることが顕在化し、広い範囲に及ぶ水質管理による重大トラブル発生の予兆を早期に発見する仕組みが求められている。このような中で、当社は、水質監視の範囲を拡大した『プラント水質監視・診断システム(TOMONI 水質診断)』を開発した。TOMONI 水質診断は、プラントの長期健全性や性能維持への貢献に加えて、使用薬品・排水量削減による環境への負荷低減の他、プラント起動時間短縮、運転コスト低減など、経済的な観点からも採用のメリットが期待されている。

*1 三菱パワー株式会社エンジニアリング本部プロジェクト統括部長崎プラント技術部

*2 三菱パワー株式会社サービス本部日立サービス部

*3 三菱パワー株式会社エンジニアリング本部プロジェクト統括部呉プラント技術部 主席技師

*4 三菱パワー株式会社サービス本部長崎サービス部 主席技師

*5 三菱重工工業株式会社総合研究所化学研究部

*6 三菱重工工業株式会社総合研究所化学研究部 博士(工学)

2. 火力プラントにおける水質管理⁽²⁾

火力プラントは、図1に示すように水－蒸気のサイクルから成り立っており、水－蒸気とプラント構成材料との間で生じる腐食問題への対応が重要な課題となっている。復水及び給水系統で発生した腐食生成物が、ボイラ系統に持ち込まれスケールとなって析出・堆積し、種々の腐食を生じさせる原因となる。ボイラ系統ではボイラ水中の不純物が蒸気中にキャリーオーバーし、タービン系統に持ち込まれ、動翼等に析出・濃縮し、タービン効率の低下や、応力腐食割れ及び腐食疲労等の腐食障害の原因となる。また、蒸気系統では、水蒸気酸化により生成したスケールが厚く成長し剥離すると、タービン系統に飛散しエロージョン原因となる。

近年、発電所の化学管理担当者が、復水系→給水系→ボイラ系→蒸気系→タービン系→復水系と繰り返す水－蒸気サイクル全般にわたって責任を持ち、水、蒸気の水質管理を適切に行い腐食、応力腐食割れ、流れ加速型腐食等の材料の環境脆化問題の全体について対処する動向にある。

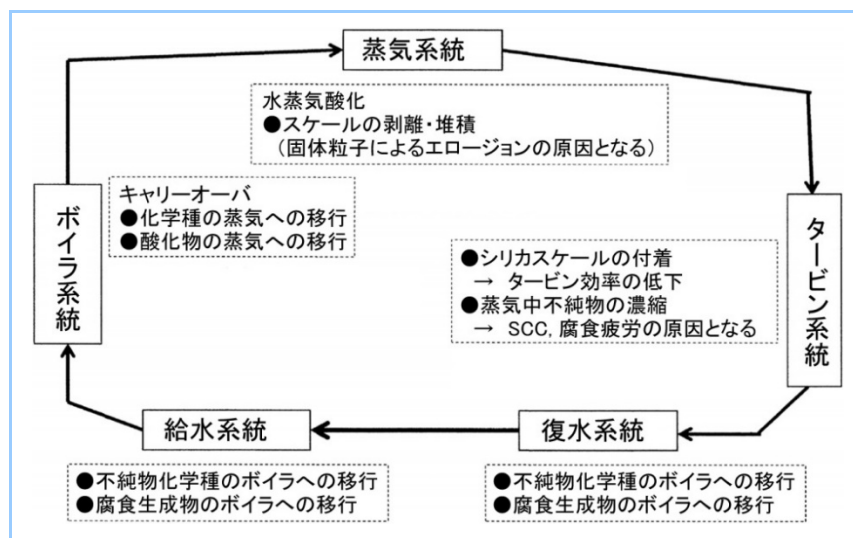


図1 水－蒸気サイクルの考え方

3. 火力プラント水処理の新技术

表1に火力発電プラントの主な給水とボイラ水処理方法を示す。水処理方式として給水処理には、AVT(揮発性物質処理)とOT(酸素処理)が、ボイラ水処理には、AVT、PT(りん酸塩処理)及びOTが用いられている。水に起因するトラブルへの対策に加えて、ボイラの高圧高温化、脱ヒドラジンなどの環境対策、再生可能エネルギー導入によるプラント負荷変動・起動停止の増加(水質変動)の対策として、当社では、水処理方法の新技术開発、及び診断システムの開発を進めている。

表1 火力発電プラントの主な給水とボイラ水処理

発電方式	圧力区分	ボイラ形式	給水の処理方法	ボイラ水の処理方法
火力発電	亜臨界圧	循環ボイラ	揮発性物質処理	揮発性物質処理 りん酸塩処理
	超臨界圧	貫流ボイラ	揮発性物質処理	
	超々臨界圧		酸素処理	
コンパインドサイクル発電	亜臨界圧	排熱回収ボイラ(循環型)	揮発性物質処理	揮発性物質処理 りん酸塩処理
	超臨界圧	排熱回収ボイラ(貫流型)	揮発性物質処理	

3.1 脱ヒドラジン(JIS B8223 改正)⁽³⁾

図2にヒドラジタンクの GHS (Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals: 化学品の分類及び表示に関する世界調和システム) ラベル表示の一例を示す。ヒドラジンは、発がん性が指摘されており、海外の新規プロジェクトを中心に、使用中止、代替技術への転換が進んでいる。



	急性毒性を表しており、飲んだり、触ったり、吸ったりすると急性的な健康障害が生じ、死に至る場合がある。
	呼吸器感受性、生殖細胞変異原性、発がん性、生殖毒性、特定標的臓器／全身毒性(単回または反復ばく露)、吸引性呼吸器有害性を表しており、短期または長期に飲んだり、触れたり、吸ったりしたときに健康障害を引き起こす場合がある。
	金属腐食性物質、皮膚腐食性、眼に対する重篤な損傷性を表しており、接触した金属または皮膚等を損傷させる場合がある。
	水生環境有害性を表しており、環境に放出すると水生環境(水生生物およびその生態系)に悪影響を及ぼす場合がある。

ヒドラジタンク表示例

※GHS: Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals
(化学品の分類および表示に関する世界調和システム)

図2 ヒドラジタンク GHS ラベル表示

表2に、AVT(R)、AVT(LO)、AVT(O)及び OT の比較(JIS B8223)を示す。2015 年の JIS 改正において、従来の AVT は、海外規格に倣って還元形の AVT(R)とし、還元剤(ヒドラジンなど)を使用しない水処理方法として AVT(LO)及び AVT(O)が追加制定された。ヒドラジンを使用しない低酸化形の AVT(LO)、酸化形の AVT(O)及び OT は、脱ヒドラジンの取組みとして有効な選択肢である。

表2 AVT(R)、AVT(LO)、AVT(O)及び OT の比較(JIS B8223)

水処理	水質環境	還元剤	溶存酸素濃度 μg/L	鉄酸化物形態	補足説明
AVT(R)	還元性	使用	7 以下	Fe_3O_4	—
AVT(LO)	低酸化性	不使用	7 以下	pH 値及び溶存酸素濃度が低いと Fe_3O_4 皮膜だけが形成する 場合が多い。pH 値及び溶存酸素濃度が高くなると Fe_3O_4 皮膜の上に極めて薄い Fe_2O_3 皮膜が形成する。	我が国でヒドラジン注入を止めた場合、AVT(LO)の水質状態になる。
AVT(O)	酸化性	不使用	7 を超え 20 以下	Fe_3O_4 皮膜の上に薄い Fe_2O_3 皮膜が形成する。	諸外国でヒドラジン注入を止めた場合、AVT(O)の水質状態になる。
参考 OT (酸素処理)	酸化性	不使用	20 を超え 200 以下	給水・ボイラ系統全体において、 Fe_3O_4 皮膜上に安定で、ち(緻)密な Fe_2O_3 皮膜が覆う。	酸素注入制御設備が必要である。

R:Reducing(還元形), LO:Low Oxidizing(低酸化形), O:Oxidizing(酸化形)

3.2 OT(酸素処理)及び鉄除去用高温フィルタ(貫流ボイラプラント)⁽⁴⁾

図3に貫流ボイラの AVT と OT の蒸発管内面スケールの違いを示す。OT 適用による効果としては、①スケール成長速度抑制による化学洗浄頻度の低減、②波状スケール生成抑制によるボイラ差圧上昇の低減、③構成機器へのスケール付着の低減、④ヒドラジンの不使用などが挙げられる。日本国内では、2020 年 10 月現在、56 プラントで適用されている。

なお、近年、いくつかの OT 適用プラントにおいて、ボイラへの鉄持込み量の増加と、ボイラ火

炉壁管内面に小粒径のポーラス状のヘマタイトスケール(パウダースケール)の付着が認められ、火炉壁管メタル温度上昇の要因となっている。パウダースケールの低減対策として、主な発生源と推定される低圧給水加熱器ドレン系統の鉄濃度低減が必須と考えられ、当社は、水質の最適化や、高温フィルタによる鉄除去装置(図4)を開発し、実機に設置して良好な結果を得ている。

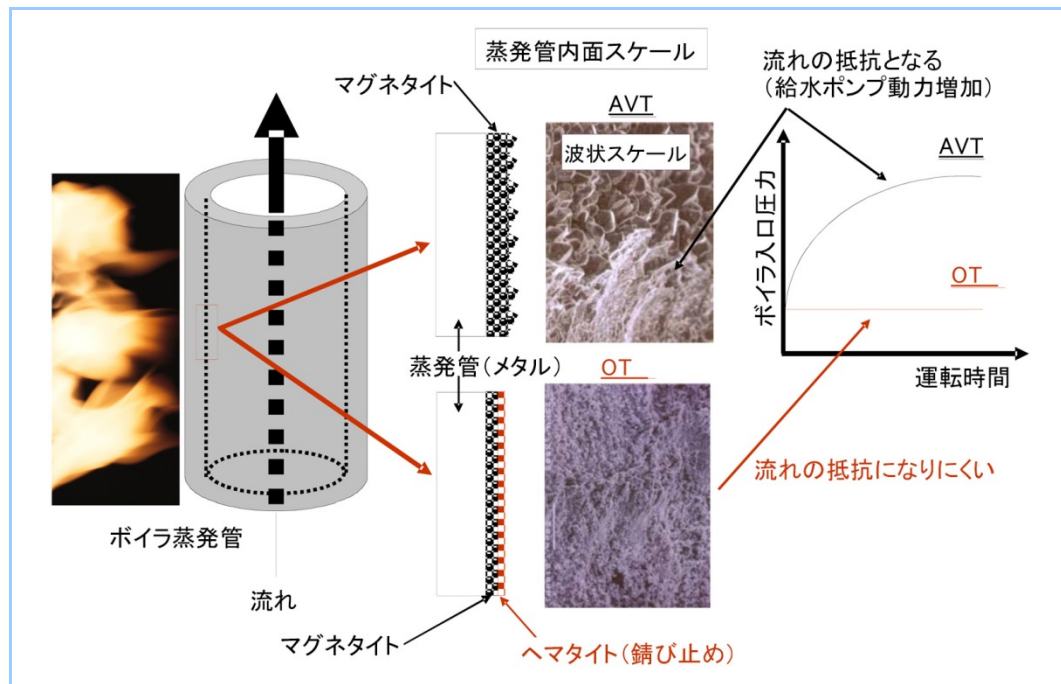


図3 AVT(揮発性物質処理)とOT(酸素処理)の蒸発管内面スケールの違い



図4 低圧給水加熱器ドレン系統 鉄除去装置の外観

3.3 High-AVT(LO)(GTCC)⁽⁵⁾

表3に従来の GTCC のプラント水処理方法(給水:AVT, ボイラ水:PT)と、High-AVT(LO)の比較を示す。給水の pH を従来(上限:9.7)より高めに設定することにより、ボイラ水の pH はりん酸塩を注入しなくとも維持できる。また、ヒドラジンを使用しない水処理方法(AVT(LO))とすることでアンモニア単独処理とでき、ヒドラジン注入設備の省略が可能となる。更に運転時と保管時の水質条件を同じとすることで、保管のためのブロー・水張り工程を省略でき、プラント起動時間の短縮も可能となる。

表3 PT(りん酸塩処理)とHigh-AVT(LO)の比較

	使用薬品			給水 pH
	給水		ボイラ水	
	アンモニア	ヒドラジン	りん酸ナトリウム	
AVT(R)+PT	使用	使用	使用	8.5～9.7
High-AVT(LO)	使用	不使用	不使用	9.8～10.3

High-AVT(LO)導入のメリット

- ・りん酸ナトリウム不使用: **りん酸塩腐食が生じない**
- ・運転時の水質条件で保管可能: **保管, 起動工程が簡略化**
- ・ヒドラジン不使用: ヒト・環境への影響が少ない
- ・高 pH での AVT 運用(9.8～10.3): **FAC の発生抑制**

GTCC では, HRSG の節炭器において FAC(流れ加速型腐食)による配管減肉が発生している。減肉傾向が認められた系統では, 配管減肉対策として炭素鋼より耐 FAC 特性に優れる低合金鋼への材質変更を図っているが, 水処理条件の変更(High-AVT 適用)による減肉抑制も効果が確認されている。図5に当社が開発した配管減肉モニタリングに用いた耐熱性薄膜型 UT(薄膜 UT)センサの外観及び設置状況を示す。薄膜 UT センサを使用して, High-AVT(R)適用による減肉抑制効果を確認した一例を図6に示す。High-AVT(R)適用後の減肉速度は, 適用前に比べ概ね 50%以下に低減していることが分かった。薄膜 UT を用いることでユニット運転中の配管減肉モニタリングが可能となり, High-AVT(R)適用による減肉抑制効果を直接確認することができた。(本事例では, pH 調整による FAC 抑制効果を確認し, ヒドラジンはそのまま使用とした。)

図7に, 亜臨界圧ドラムボイラにおける High-AVT(LO)適用による改善事例を示す。High-AVT(LO)適用後に, スケール付着による高圧給水加熱器差圧上昇が抑制された。



図5 耐熱性薄膜型 UT(薄膜 UT)センサの外観及び設置状況

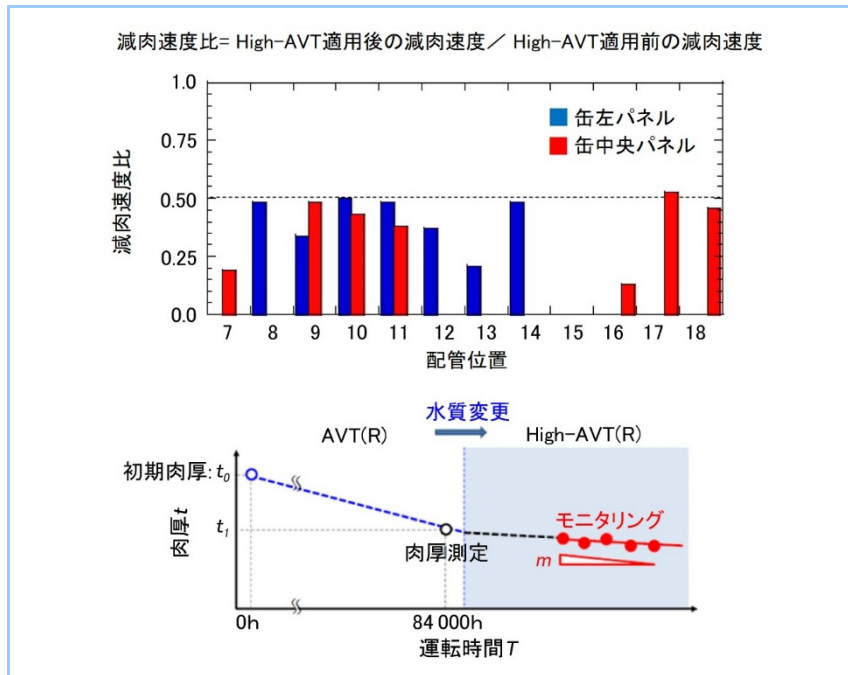


図6 High-AVT 水処理適用による減肉抑制効果

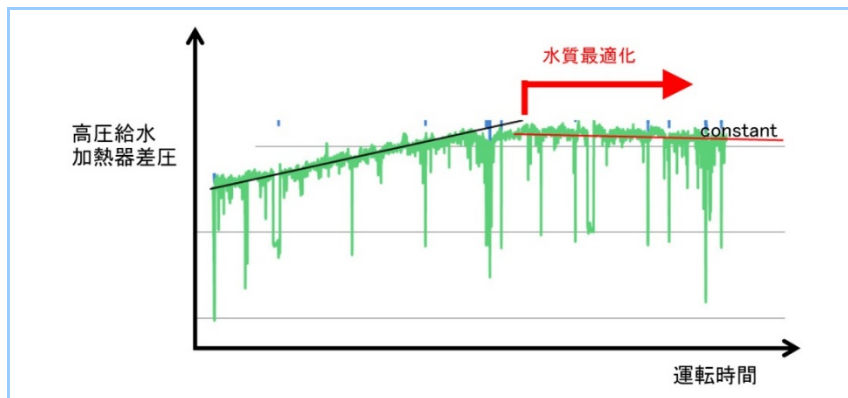


図7 High-AVT(LO)適用による改善事例(高圧給水加熱器差圧上昇抑制)

4. TOMONI 水質診断⁽⁶⁾

図8に TOMONI 水質診断の画面イメージの一例を、図9に TOMONI 水質診断サービスコンテンツの一例を示す。火力発電プラントにおける水に起因又は関連するトラブルを未然に防止するために、ボイラ復・給水系統、蒸気系統、補給水系統(純水製造設備)、循環水系統、排水処理系統等に注目し、水質監視計器、運転情報(流量、圧力、温度)、機器情報(弁開度、機器差圧)等を集約・解析して、水質診断を実施する。TOMONI 水質診断は、クラウドサービスでの提供を基本と考えており、①リアルタイム監視(24 時間、365 日:自動診断)、②定期レポート(自動出図/月)、③専門家の診断報告書(総合評価/年2回)のサービスを提供する。(②、③はオプション)

③の診断報告書では、水質異常(予兆)から将来予想される重大トラブルと、対策検討のための追加調査、次回定検時の検査項目が推奨される。

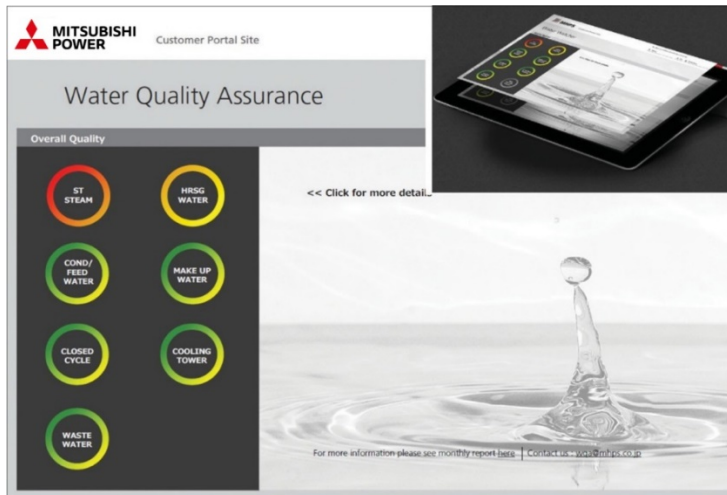


図8 TOMONI 水質診断 画面イメージの一例

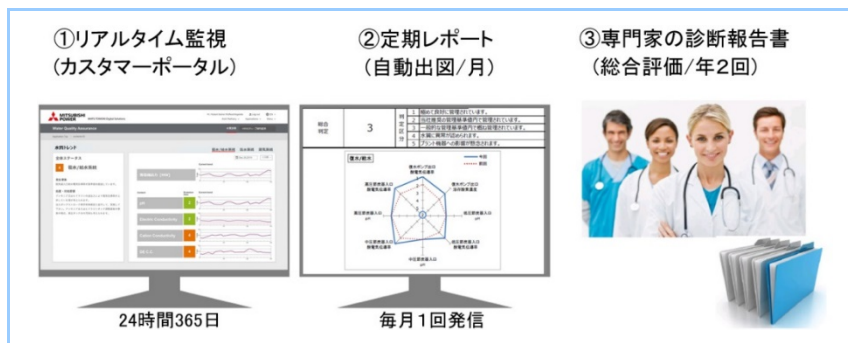


図9 TOMONI 水質診断サービスコンテンツの一例

5. まとめ

火力発電プラントの水処理技術は、腐食・スケール付着など機器の損傷対策として検討・改善され、現在、当社は脱ヒドラジン、鉄除去用高温フィルタ、OT、High-AVT(LO)及び TOMONI 水質診断などの新技術を開発・提供している。また、JIS B8223として制定されているボイラ・タービンの要求水質については、新知見による定期的な改正に今後も参画して貢献していく所存である。

さらに、TOMONI 水質診断は、重大トラブル発生の未然防止だけでなく、長期健全性や性能維持、使用薬品・排水量削減による環境への負荷低減の他、プラント起動時間短縮、運転コスト低減など、経済的な観点からも採用のメリットは大きいと考えており、適用拡大を図っていく。

参考文献

- (1) JIS B8223-2015 ボイラの給水及びボイラ水の水質
- (2) 火力原子力発電技術協会 火力発電プラントにおける水質管理ハンドブック(2018)
- (3) Kido, H. et al., Alternatives to Hydrazine in Water Treatment at Thermal Power Plants, Power Plant Chemistry, 2011, 13(10), p623~627.
- (4) 椿崎ほか, 火力発電プラント水処理技術(現状と展望), 三菱重工技報 Vol.50 No.3 (2013)
- (5) 浦田ほか, コンバインドサイクル HRSG 配管減肉モニタリング技術(薄膜 UT)の開発と High-AVT 水処理による減肉抑制効果の検証, 三菱重工技報 Vol.56 No.1 (2019)
- (6) 椿崎ほか, 環境負荷・ランニングコスト低減に寄与するプラント水質診断システムの開発, 三菱重工技報 Vol.55 No.1 (2018)