

海外EPC火力発電への取り組み

米国ミッドアメリカーンプロジェクトの計画概要

Approach to Overseas EPC Projects

立石 昭隆 Akitaka Tateishi 古賀 智茂 Tomoshige Koga



建設中のミッドアメリカーン・エナジー社カウンシルブラッス発電所4号機の全景

米国アイオワ州カウンシルブラッス市に建設中のカウンシルブラッス発電所4号機では、ボイラの第3段階と、発電所の基礎となるタービン発電機架台の建設が進行中である(2004年10月現在)

日立製作所は、海外における火力発電EPC(Engineering, Procurement, and Construction)プロジェクトに積極的に取り組んでいる。2003年2月には、大型石炭火力発電EPCプロジェクトのカウンシルブラッス発電所4号機870 MW(gross)発電設備を米国ミッドアメリカーン・エナジー社から受注し、設計、製作および建設を推進中である。

この発電設備は、蒸気条件が最高水準の25.3 MPa・g, 566 /593 , PRB炭燃焼超臨界圧変圧貫流ボイラ、最終段に40インチ(約102 cm)翼を採用

した最新鋭蒸気タービン、および二極式では最大容量の発電機のほか、冷却塔による循環水冷却方式を採用していることが特徴である。また、環境設備として脱硝装置と脱硫装置を設置し、NO_x、SO_x、ばいじんなどの環境規制値に対応している。現在、45か月の建設期間や、米国ではここ20年ほど大型石炭火力発電所が建設されていないことなどの条件下で、プロジェクトを円滑に推進するための建設体制を構築して建設を進めている。

1 はじめに

米国ミッドアメリカーン・エナジー社カウンシルブラッス発電所4号機の建設では、「ミッドアメリカーンプロジェクト」として2003年9

月に土木着工、2004年6月にボイラ立柱が開始された後、作業は順調に進行している。日立製作所は、4号機の機器設計納入、土木工事、および建設工事一式をEPC(Engineering, Procurement, and Construction)契約で受注し、プラントエンジニアリングと建設取りまとめの総合力を生かし

て、世界最高水準の熱効率を持つ870 MW石炭燃焼火力発電設備を建設中である。

ここでは、火力発電EPC「ミッドアメリカンプロジェクト」のタービン発電機設備、ボイラ設備、環境設備の概要と特徴、および建設計画について述べる。

2 プロジェクトの概要と特徴

ミッドアメリカン・エナジー社は米国アイオワ州で最大の電力会社であり、発電プラントは同州カウンシルブラッフス市に位置する(図1参照)。発電プラントの主要計画仕様を表1に示す。このプロジェクトはEPC契約であることから、機器設計調達、土木工事、および建設工事一式が納入範囲となる。主要納入範囲は以下のとおりである。

(1) タービン設備

タービン発電機、復水設備、給水設備、電気・制御設備、付属設備

(2) ボイラ設備

ボイラ本体、灰処理設備、運炭設備

(3) 環境設備

脱硝装置、脱硫装置、集じん装置

(4) 付帯設備

井戸設備、井戸水軟化装置、水処理装置、循環水冷却塔

(5) 土木・建築設備

タービン建屋、ボイラ建屋、管理事務所、倉庫、工作機械室、煙突

3 蒸気タービンの概要

3.1 タービン本体の構造

このプロジェクト用の蒸気タービンは、定格運転時発電端出力が870 MWであり、海外へ納入した火力発電用蒸気タービンとしては、日立製作所の納入実績中最大出力の

表1 発電プラントの主要計画仕様

基本計画条件と、ボイラ、タービン、および発電機の主な仕様を示す。

項目	単位	カウンシルブラッフス4号機	
基本計画条件	定格出力	MW	870(グロス)
	蒸気条件	MPa・g	25.3
	燃料		566/593 石炭(PRB炭)
主機条件	型式		超臨界圧変圧貫流
	蒸気圧力	MPa・g	26.2
	蒸気温度		570/595
	蒸発量	t/h	2,530
	型式		くし形4流排気
	回転速度	r/min	3,600
発電機	排気真空度	mmHg	722
	型式		横置き円筒回転界磁型
	容量	MVA	1,025

注：略語説明 PRB(Powder River Basin)

タービンとなる。

タービン型式にはTC4F-40(タンデムコンパウンド、低圧部4流、低圧最終段翼長40インチ(約102 cm)を採用した(図2参照)。

また、出力800 MW級の超臨界圧タービンとして、日立製作所で初めてタンデムコンパウンドの軸構成を採用し、タービン設備のコンパクト化を図っている。

3.2 タービン本体の特徴

タービン主要部の材料では、主蒸気圧力25.3 MPa・g、主蒸気温度・再熱蒸気温度566 / 593 という高蒸気条件に対応するため、主蒸気止め弁・蒸気加減弁・組合せ再熱弁の弁体部と主蒸気・再熱蒸気入口管に9Cr鍛鋼を、高中圧部のロータ・内部ケーシングおよびダイヤフラムに12Cr鋼という高温材料をそれぞれ採用した。

タービン動翼の先端カバー部には、高圧部と低圧部にCCB(Continuous Cover Blade)を採用し、性能と信頼性の向上を図った。高圧部CCB式動翼の例を図3に示す。

また、タービン静翼には、AVN(Advanced Vortex Nozzle)翼を適用し、性能の向上を図った。

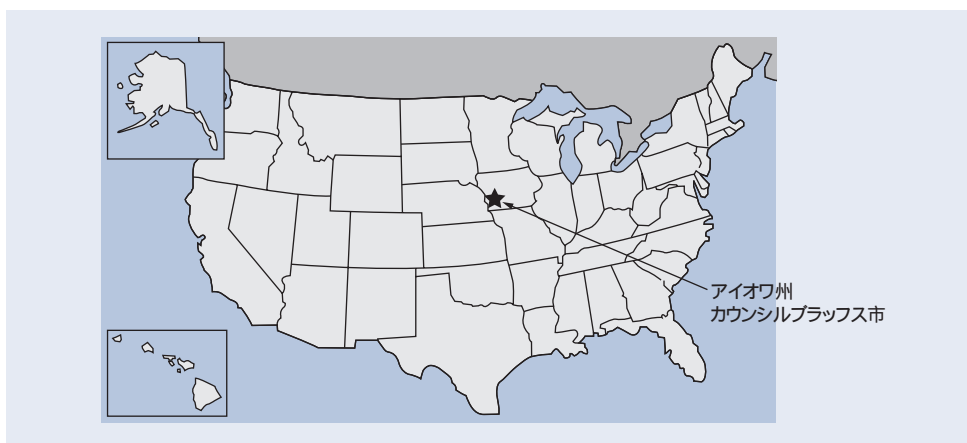


図1 カウンシルブラッフス市の位置

この発電プラントは、米国アイオワ州カウンシルブラッフス市郊外に位置する。

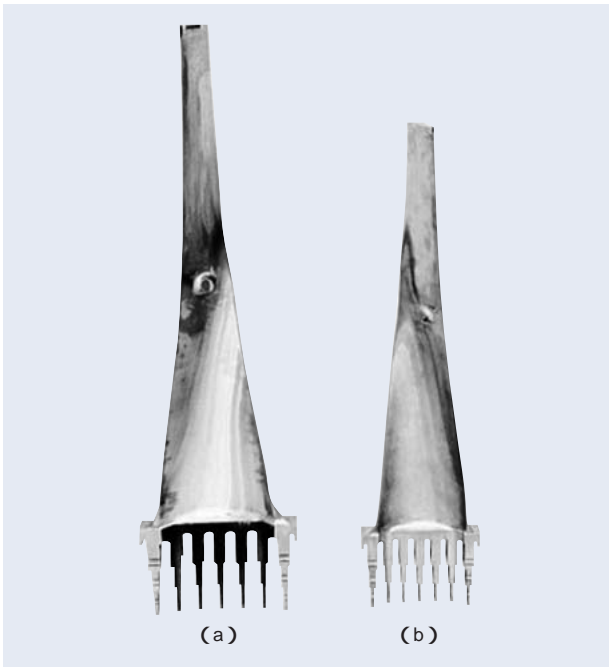


図2 60 Hz用のCCB(Continuous Cover Blade)深用40インチ(約102 cm)長翼(a)と33.5インチ(約85 cm)長翼(b)
このプロジェクト用の蒸気タービンには、40インチ長翼を採用している。



図3 CCB採用高圧タービン動翼の例
動翼先端カバー部は、一体削り出し構造である。

4 発電機の概要

4.1 発電機の特徴

このプロジェクト用発電機は、火力発電所納めの二極発電機としては日立製作所の実績中最大容量となる1,025 MVAタービン発電機であり、800 MVA機に比べて約1.3倍の容量増となる(日立製作所実績比)。この発電機的设计・製作にあたっては、実績がある技術をベースにし、十分に検証した基本技術を加えることで信頼性を高めている。

表2 大容量発電機の技術課題と適用技術

大容量化(大電流化、大型化)に伴う技術的課題を克服するための各種技術を1,025 MVA発電機に適用している。

技術課題		適用技術
大電流化	固定子巻線冷却	混合素線異断面巻線 水電気一体接続構造 亘(わた)別冷却構造 大径絶縁ホース
	固定子巻線端部支持構造	テトラロック構造
	固定子鉄心端部構造	シールドコア、銅板シールド
	回転子巻線冷却	直接冷却界磁リード
	クーラ構造	上置きトップドームクーラ構造
	口出しプッシング	水素直接冷却プッシング
大型化	回転子軸材料	高強度・高靱性軸材
	エンドリング材料	高強度18Mn-18Cr鋼
	回転子振動	振動応答感度の低減
	回転子断面形状	最適設計による応力低減
	固定子フレーム	コンパクトフレーム
	大口径軸受	中央溝付きだ円軸受

4.2 技術課題と適用技術

大容量化に伴う技術的な課題に対応する適用技術を表2に示す。主な技術課題と適用技術について以下に述べる。

4.2.1 回転子関連

回転子の外径のほぼ二乗に従って、発電機の出力を増加させることが可能である。しかし、同様に応力も増加する。そのため、高強度かつ高靱性の軸材料が必要となる。現在では、原料選定段階から不純物元素の少ない高純度材を用い、精錬段階では真空脱酸法に加え、取鋼(とりなべ)精錬によって鋼質の清浄度を高め、偏析や脆化傾向がなく、高靱性の引張強度1,000 N/mm²級の軸材料を開発し、採用している。

4.2.2 固定子関連

大容量化に伴って発生する損失も増加することから、冷却性能を向上させる必要が生じる。そのため、水素ガス圧力を従来の0.41 MPa・gから大容量四極発電機(1,500 MVA級)で実績がある0.52 MPa・gまで増加させる目的で、クーラ構造を二極機標準の縦置きクーラ構造ではなく、四極機で実績がある上置きトップドームクーラ構造としている。上置きトップドームクーラ構造を採用することで、ステータフレームをコンパクト化できる利点もある。また、冷却方式として実績がある回転子巻線水素直接冷却と固定子巻線水直接冷却を採用することで、信頼性が確保される設計としている。

5 ボイラ設備と環境設備の概要

5.1 ボイラ設備

ボイラには、スラッキング性の厳しいIPRB(Powder River Basin)炭に対応した火炉設計を採用している。PRB炭の火炉付着灰は、ガラス質で硬いために、従来の蒸気式や空気

式の灰除去装置では除去することが困難である。そのため、このボイラでは、スラッキングによる火炉収熱量低下に対応することを目的に、十分な火炉容積をとることに加え、高压放水式の灰除去装置を設置することとしている。

放水式灰除去装置では、火炉水壁各部の熱負荷を監視することで、灰が付着した個所を効果的に除去することができる。また、水流を移動させることによって広範囲の灰を除去することが可能であり、スラッキングの厳しいPRB炭燃焼時でも火炉出口ガス温度上昇を抑制することができる。

燃焼システムでは、大容量最新鋭の「HT-NR3バーナ」による高温還元炎、およびオーバエアポートによる二段燃焼を採用することで、排ガス中のNO_x(窒素酸化物)低減を図っている。

基本構造は、国内プラントで培った大容量超臨界圧ベンソンボイラの最新技術を最大限に踏襲した設計としている。ボイラの側面図を図4に示す。

5.2 環境設備

脱硝装置とDFGD(Dry Flue Gas Desulfurization)システムを設置し、NO_x、SO_x(硫酸酸化物)、ばいじんなどの環境規制値に対応する環境設備としている(図5参照)。

この脱硝装置の計画仕様を表3に示す。PRB炭はカルシウムの含有量が高く、触媒が詰まりやすく、触媒の劣化成分を高濃度で含んでいるため、触媒性能が低下しやすいなどの課題があることから、触媒は石炭灰が詰まりにくい特徴を持つバブコック日立株式会社製の板状触媒とし、さらに、

PRB炭燃焼プラントの実績をベースに、耐久性を持つように改良している。

触媒を収納する脱硝反応器については、コンパクト設計とするために、反応器上流に特殊な排ガス混合器を設けることで触媒性能に大きく影響を与えるアンモニアと排ガスの混合を促進し、短い混合距離で均一となるように設計している。

また、使用する還元剤は、従来のアンモニアとは異なり、毒性がなく、加水分解するとアンモニアガスが得られる尿素が指定されている。尿素は、安全性の観点から、2000年ころから米国を中心に採用されているものの、大型の装置には実績が少ない。そのため、米国を中心に十数基の大型設備の納入実績を持つ米国ワルコ(Wahlco)社のU2Aシステム(40%の尿素水を高温・高压下で加水分解する方式)を採用した。

DFGDシステムの主な設計仕様を表4に示す。DFGDシステムは、入口SO₂濃度が560 ppm、除去率は93.6%、出口ばいじん濃度20 mg/Nm³で設計している。

DFGDシステムでは、SO_xやばいじんを含んだボイラ排ガスを吸収塔に導入し、SO₂吸収剤(石灰(CaO))スラリーを微細な液滴で噴霧する。吸収塔は745.7 kWの回転式噴霧機を各1台設置した3塔で構成し、100%の排ガスを処理する。噴霧された液滴は排ガスと接触して、排ガスの顕熱によって蒸発し、ガスを冷却して、吸収塔の出口温度を飽和温度より17~17.5℃に制御する。SO₂などの酸性ガスを吸収した乾燥粉は、ばいじんとともに後流の集じん装置で捕集され、ガス中から除去される。

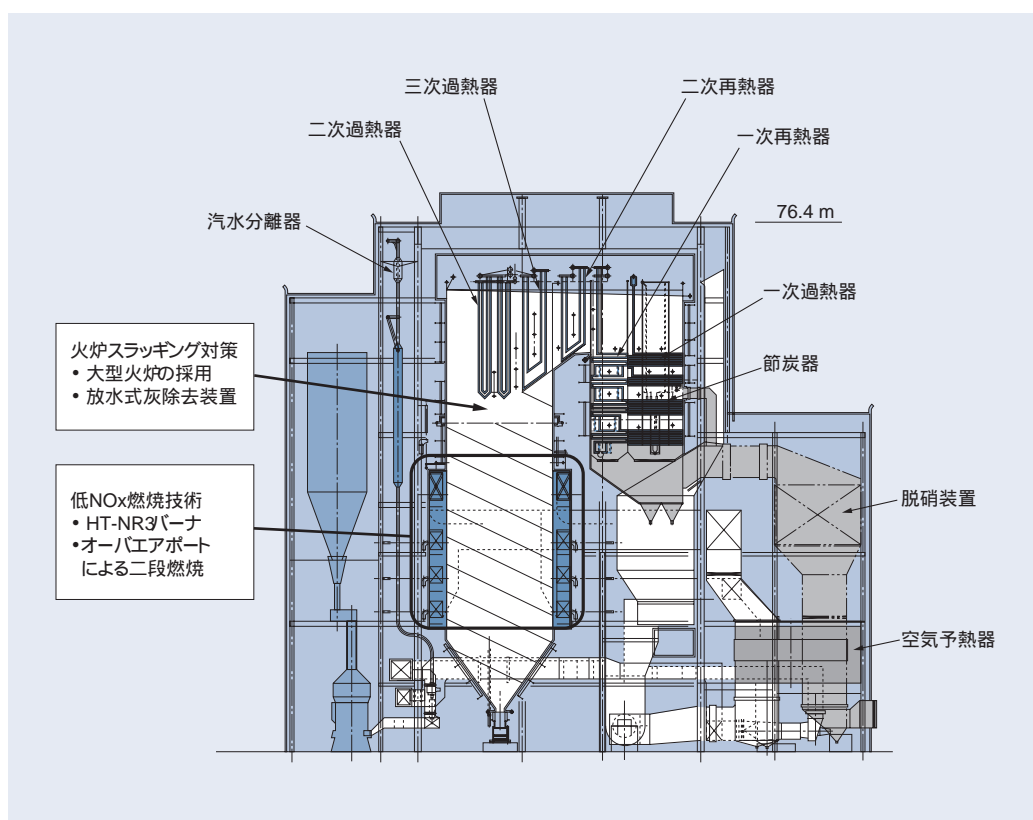


図4 カウンシルブラッス4号機のボイラ側面図

大容量超臨界圧ベンソンボイラの最新技術を最大限に踏襲した設計としている。

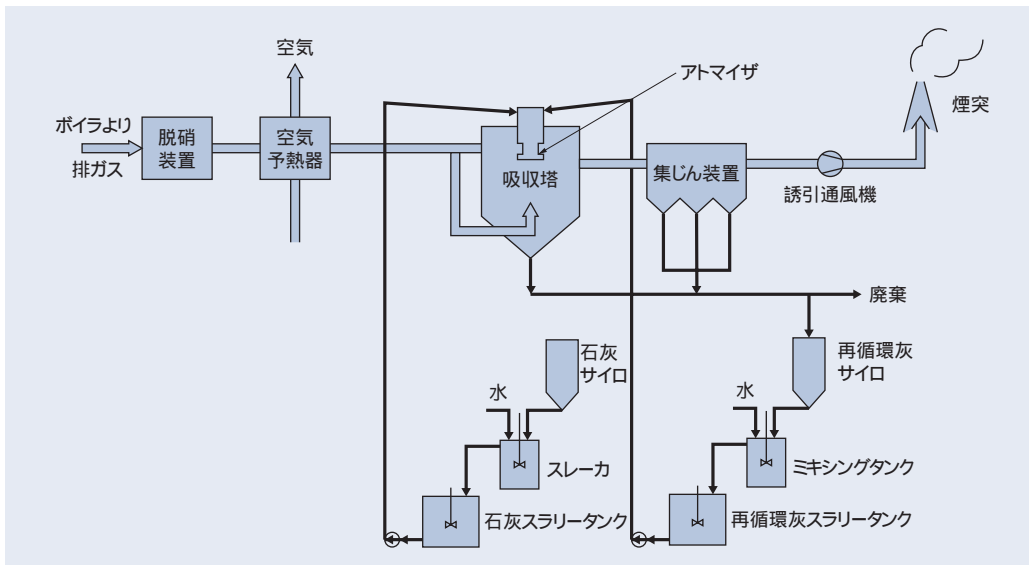


図5 環境装置の概略システム構成
脱硝装置と乾式脱硫装置のシステム構成の概要を示す。

表3 脱硝装置の主要計画仕様

還元剤には、従来のアンモニアと異なり、加水分解するとアンモニアガスが得られる尿素を使用している。

項目	仕様
脱硝装置システム	乾式SCR法
アンモニア装置	尿素加水分解法
設計入口NO _x 濃度	128 ppmv(6%O ₂ ベース)
設計運転温度	380
入口SO _x 濃度	752 ppmv(6%O ₂ ベース)
ばいじん濃度	11.6 g/Nm ³
出口NO _x 濃度	42 ppmv(6%O ₂ ベース)
出口リークNH ₃ 濃度	2 ppmv(3%O ₂ ベース)
SO ₂ 酸化率	3%以下

注：略語説明 SCR(Selective Catalytic Reduction ; 選択式接触還元)
ppmv(Parts per Million Volume Distribution)

集じん装置にはパルスジェット式バグフィルタを採用し、除じんする。バグフィルタは16室構成で、バグの灰払い落としは、タイマとバグの圧力差信号で制御する。破損したバグの交換は、バグ全体の運転は継続しながら当該バグ室を閉めきって実施する計画である。また、バグフィルタで捕集した灰に含まれる未反応石灰を有効利用するために、再循環灰システムを設置して捕集灰の一部を再循環し、吸収剤として利用する。石灰は塊状で受け入れ、スレーカで水と混合し、吸収剤スラリーを製造する。吸収剤スラリー設備は2×100%容量としている。

6 プロジェクト工程と建設計画

6.1 プロジェクト工程

プロジェクトの主要工程を図6に示す。2003年のNTP (Notice to Proceed)から2007年のS/C(Substantial Completion)まで45か月の建設期間であり、現在、順調に建設作業が進行中である。

表4 DFGD(Dry Flue Gas Desulfurization)システムの主要計画仕様

集じん装置には、パルスジェット式バグフィルタを採用している。

項目	単位	仕様
吸収塔		
設置数	台	3
直径	m	17.2
滞留時間	s	10
噴霧機出力	kW	745.7
出口温度		72
飽和温度差		17
スラリー濃度	%	30
集じん装置		
形式		パルスジェット式
流速	m/min	1.0
スレーカ		
台数	台	2
容量	t/h	5.4
石灰		塊状

6.2 プロジェクト建設計画

建設期間を守るために、建設工事計画の技術面と契約面での対応を実施している。技術面では、ボイラ建設期間短縮のために、ボイラ耐圧部、ダクト、石炭サイロ、弁ステーションなどとボイラ鉄骨を同時に据え付ける「同期化工法」を採用した。配管据付け工事においては、従来から大径管、広ピッチの管列などの突合せ溶接に自動溶接機を適用している。このプロジェクトでは、溶接点数が多く、溶接の難易度の高いスパイラルパネル突合わせ溶接部を対象とした自動溶接機を新たに開発し、作業効率と精度の向上を図っている。また、高圧タービンと中圧タービンについては、それぞれを工場で組立てを完了し、一体輸送して据え付けることにより、据付け期間と工数の短縮を図っている。さらに、ミシシッピー川とミズリー川を利用したバージ(台船)による大型ブロック輸送を可能とするため、サイトにバージ水切り施設を建設して運用中である。

	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	
主要マイルストーン	INTP ▽	NTP ▽	ボイラ立柱 ▽	TGオンベース ▽	ボイラ水圧試験 ▽	点火 ▽
						S/C ▽

注：略語説明
 INTP(Initial Notice to Proceed)
 NTP(Notice to Proceed)
 TG(Turbine Generator)
 S/C(Substantial Completion)

図6 プロジェクトの主要工程
 NTPからS/Cまで45か月の建設期間である。

契約面では、土木工事と据付け工事を一括して同一ベンダーに発注し、土木工事から据付け工事への移行がスムーズに行われるように配慮した。また、据付け工事は、鉄骨、機器、配管、電気計装、および周辺工事を一括して同一ベンダーに発注し、相互の調整の容易化を図っている。

新技術について述べた。

これから本格化するこのプラントの建設では、日立製作所は、2007年6月のプラント引き渡しに向けて注力していく考えである。

終わりに、計画から建設にわたって、ミッドアメリカン・エナジー社の関係各位から多大なるご指導とご協力を頂いている。ここに深く感謝する次第である。

7 おわりに

ここでは米国ミッドアメリカン・エナジー社カウンシルブラッフス発電所4号機の発電設備の特徴と、同設備に適用した最

参考文献

- 1)古賀：1,570 MVAタービン発電機製作完成，電気学会，RM-03-26（2003）

執筆者紹介



立石 昭隆

1974年日立製作所入社，電力グループ 火力・水力事業部 ミッドアメリカン推進本部 プロジェクトエンジニアリング部 所属
 現在，ミッドアメリカンプロジェクトのエンジニアリング推進に従事
 E-mail：akitaka_tateishi @ pis. hitachi. co. jp



古賀 智茂

1995年日立製作所入社，電力グループ 日立事業所 電力設計部 交流機計画グループ 所属
 現在，タービン発電機の基本設計に従事
 E-mail：tomohige_koga @ pis. hitachi. co. jp



藤井 秀敏

1997年日立製作所入社，電力グループ 日立事業所 タービン設計部 蒸気タービン設計グループ所属
 現在，蒸気タービンの設計業務に従事
 E-mail：hidetoshi_fujii @ pis. hitachi. co. jp



木村 肇

1989年バブコック日立株式会社入社，ボイラ設計部 基本設計課 所属
 現在，事業用ボイラの基本設計に従事
 E-mail：kimura-h @ kure. bhk. co. jp