〔納入製品・施設紹介〕

印旛機場ポンプ設備改修工事

山　口　弘　史*

Reconstruction of the Pump Facility at Inba Drainage Pump Station

by Hiroshi YAMAGUCHI

Ebara has completed the reconstruction of the large-scale pump facility at Inba Drainage Pump Station (capacity: 92 m^3/s) in Northern Chiba Prefecture. The reconstruction, featuring multiple unprecedented totalized engineering techniques, was conducted between March 2003 to July 2006. A total of 6 new pumps, two each year, were installed. Unlike the construction of a new such pump facility, the work was done in a totalized manner, involving civil, structural, mechanical and electrical engineering techniques. This approach enabled a considerable saving in construction time and costs. Notable is that several actual drainage operations were able to be conducted during the course of the construction, thus contributing to the regional community.
Keywords: Drainage pump station, Restore functions, Renovation, Vertical axial flow pump, High efficiency, Short construction schedule, Concrete cutter with low vibration, Wire saw, Short length multiple guide vanes, Lightweight

1. は じ め に

印旛沼開発事業は，千葉県北部に位置する印旛沼周辺農地の洪水排水，干拓及び農業用水・都市用水の補給を目的として実施された総合開発事業である。印旛機場は印旛沼開発の基幹となる排水機場で，印旛沼北部調整池から長門川を介し利根川に排水する総排水量92 m^3/sのポンプ場である。本機場は1959年の完成以来40年以上が経過し，設備の老朽化により機能が低下していたため，機能回復を目的に改修工事が行われた。

当社は，これらの工事のうち，核となるポンプ設備にかかわる機械設備・制御設備・土木設備の改修を印旛機場ポンプ設備改修工事として請負い，2003年3月から2006年7月にわたり機器製作及び現場工事を実施した。

本工事の遂行に当っては，機器設計・製作も含め既存のポンプ設備工事技術だけでは発注条件をクリアすることは不可能であったが，種々のソリューション技術を用いることで，工事を無事完了することができた。本稿は，その概要を報告するものである。

* 風水力機械カンパニー　社会システム事業統括　プロジェクト設計室

2. 工事の概要

表1に設備改修における基本方針を示す。**表2**に改修内容の概要を示す。工事後の機場配置図を**図1**に示す。**写真1**に工事前・後のポンプ室内全景を示す。

本工事は，老朽化した既設ポンプ設備を新しい仕様・形状の設備に更新する工事で，毎年2台ずつ，3年間で全6台のポンプ設備を更新した。

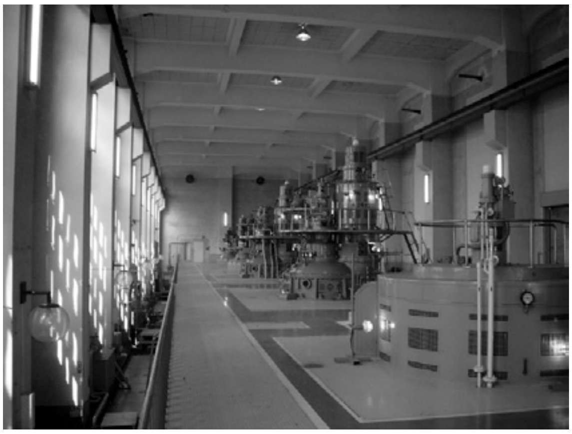
現在までに行われてきたポンプ場の更新工事の多くは，機器が寿命に達した場合，新しい機器に対する細部の見直しはあるものの，基本的には同形状の機器を入れ替える手法が取られていた。もしくは，これに加え，土木建築設備にある程度の劣化が認められた場合は，ポンプ場の全面改築が行われていた。

表1　改修工事の基本方針
Table 1　Main targets in reconstruction

1	排水能力は既設を踏襲 Maintaining the previous discharge capacity
2	停電時の安全度向上（1/2の排水量を確保） Maintaining 50% of the discharge flow rate during power failure
3	機器簡素化によるコスト低減・信頼性向上 Cost reduction and improved reliability by use of simplfied equipment
4	土木・建築流用による改修コスト低減 Cost reduction in reconstruction by maintaining previous civil engineering and architectural factors

表2　改修工事内容の概要（主な改修点）
Table 2　Summary of reconstruction

設備名 Equipment	既設設備 Equipment before reconstruction	改修ポイント Reconstruction points	改修後設備 Equipment after reconstruction
ポンプ設備 Pump	ϕ 2800 mm立軸軸流ポンプ Vertical axial flow pump 要項　15.33 m^3/s × 2.5 m（実揚程0～2.5 m） Specifications　Actual head × 565 kW（歯車減速機掛け），538 kW（直結） Gear driven type　Direct coupled type ・ポンプ形状　カサ-カサ，二床式 Shapes of suction and discharge: umbrella-umbrella, set on 2 floors ・可動羽根 Adjustable vane ・直並列運転切替 Parallel and series operation ・グランドパッキン Gland packing ・ゴム軸受 Rubber radial bearing	高効率・軽量化 Higher efficiency, lightweight 可動羽根廃止 No adjustable vane 直列運転廃止 No series operation 注水設備廃止 No lubricating water system	ϕ 2600 mm立軸軸流ポンプ Vertical axial flow pump 要項　15.33 m^3/s × 2.9 m（実揚程0～5.516 m） Specifications　Actual head × 860 kW（ディーゼル機関），820 kW（電動機） Diesel engine　Motor ・ポンプ形状　ベンドベンド，一床式 Shapes of suction and discharge: bend-bend, set on 1 floor ・固定羽根 Fixed vane ・並列運転 Parallel operation ・無注水軸封装置（フローティングシール） Dry seal (floating seal) ・セラミックス軸受 Ceramic radial bearing
原動機 Driver	立軸電動機×6台 Vertical electric motor	内燃機関導入 （停電時対応） Internal combustion engine for electric power failure	ディーゼル機関×3台 Diesel engine 横軸電動機×3台 Horizontal electric motor
減速機 Reduction gear	立形平行軸歯車減速機（水冷） Vertical parallel shaft reduction gear (water cooling)	冷却水設備廃止 No cooling water system	かさ歯車減速機（機付ファン空冷） Bevel type reduction gear (air cooling by fan)
補機類 Auxiliary equipment	主ポンプ用注水系統設備 Lubricating water system for pumps 主ポンプ・歯車減速機用冷却系統設備 Cooling water system for pumps and gears 可動羽根作動油系統設備 Working oil system for vane angle operation 歯車減速機潤滑油系統設備 Lubricating oil system for gears 直並列運転切替用ゲート設備 Gate system for pump operation in parallel and series	前記主機変更に伴う廃止・新設 Renovation by changing main equipment	ディーゼル機関用系統機器設備 System for diesel engine （冷却水系統，燃料油系統，始動空気系統，換気系統） (cooling water system, fuel oil system, starting air system, ventilation system)
土木・建築 Civil and architectural	機器周り土木構造撤去 Remove civil engineering structure around old machine 二床式土木建築構造 2 floors setting pump	既設流用 Use existing for structural design	主ポンプ新設機械周り土木再構築 Reconstruction of civil engineering structure around new machine 1F撤去後グレーチング床再構築 Each upper floor was reconstructed by grating 1床式土木建築構造 1 floor setting pump



改修前ポンプ室内全景
Driver room before renovation

改修後ポンプ室内全景
Driver room after renovation

07-06 01/214

写真1　改修工事前後ポンプ室内全景
Photo 1　View of engine room before and after reconstruction

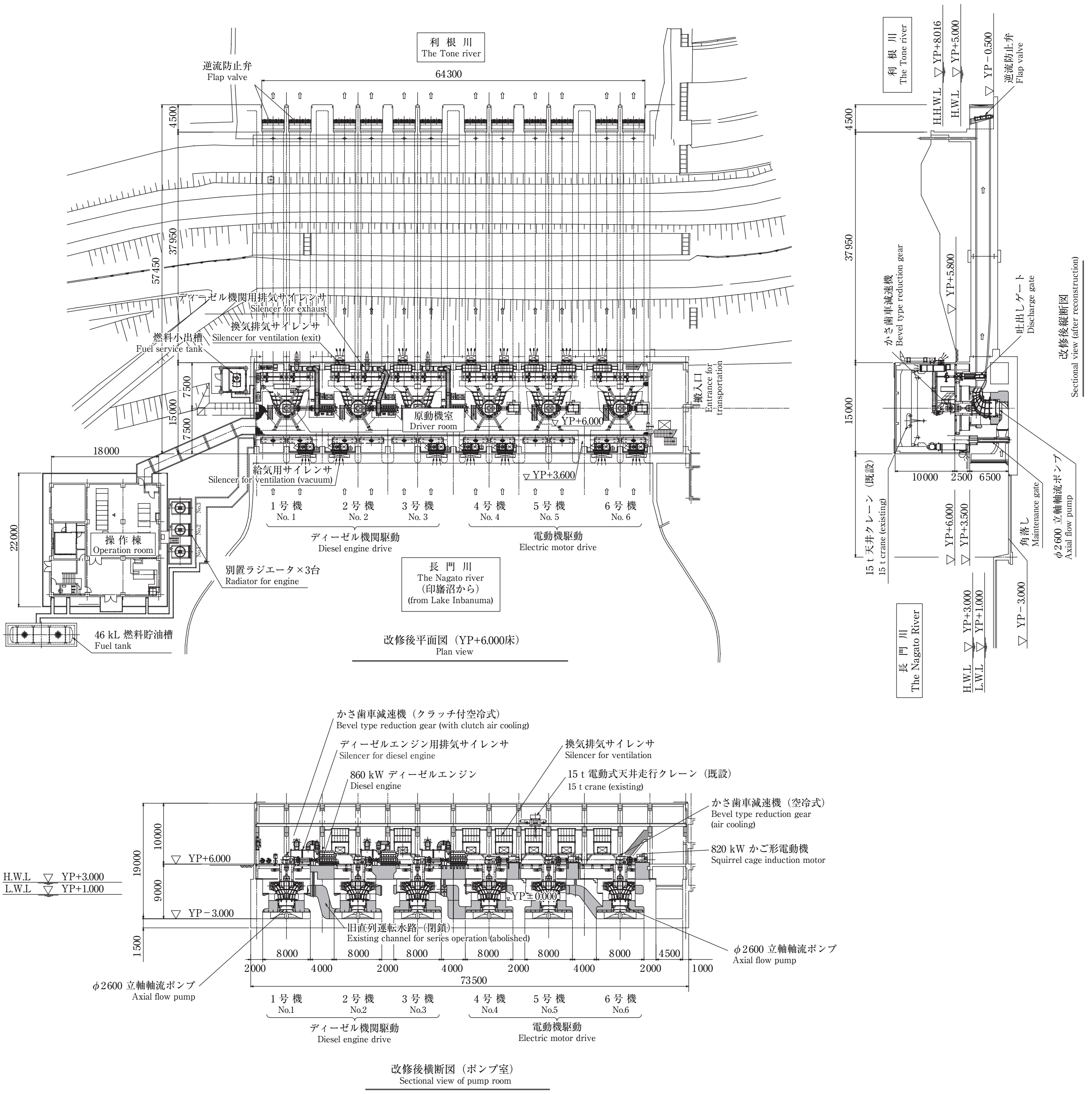


図1　改修工事後の機場配置
Fig. 1　Layout of pump station after reconstruction

しかしながら，機器の寿命と土木・建築構造物の寿命を比較した場合，静的で，鉄筋コンクリートで構成された土木・建築構造物の方が明らかに長寿命を有する。

よって，機器だけを更新した場合は信頼性・技術の面で，また，全面改築を行った場合はコストの面で，必ずしも最適なものとはなりにくい。

本工事の場合，改修コストを抑えつつ，信頼性を確保するため，既設の土木・建築部を可能な限り流用しつつ，全面新規設計の機器及びシステムを導入したという点が最も大きな特徴となっている。

3. 主な技術的課題

本工事においては，製作・施工上，次のとおり複数の厳しい条件が与えられていた。

3-1　ポンプにおける課題

新設ポンプは，既設の吸込・吐出し水路を流用しつつ

(つまりポンプの吸込口から吐出し口までの高さを既設ポンプと変えずに)，次の各項を満足する必要があった。

(1) 高効率（最高効率86％）を保証する。

(2) 既設設備で行っていたポンプ2台の直列運転を廃止し，1台で既設の2倍の実揚程範囲（0～5.516 m）に対応する。

(3) 既設の天井クレーンを流用するため，各機器の吊り質量が，既設天井クレーン容量（15 t）以下となるように，軽量化する。

3-2　配置・機場システムにおける課題

実揚程範囲変更に伴い，原動機出力を大きくするとともに，信頼性を向上させるため，3台をディーゼル機関駆動，3台を電動機駆動に変更した。そのため，既設の立形駆動機の限られたスペース内で次の条件を満足する必要があった。

(1) 既設と異なる仕様・形状を，維持管理性を確保しながら配置する。

(2) 新設設備は，既設土木が耐えうる荷重条件とする。

3-3　現地工事における課題

既設機場の機能を生かしながら施工する必要があったため，全6台を毎年度2台づつ，3年にわたって更新する工事であったが，これに加え，次に示す工程制限が設けられており，施工期間が非常に短かった。

・出水期（5～10月）は全6台，非出水期（11～4月）は4台の主ポンプが排水運転可能な状態で，工事を行う。

つまり，各年の1回の工事においては，非出水期の6箇月の短期間で，主な現地工事の施工を完了する必要があった。

4. 課題の解決方法

以上の課題に対して，次の技術を適用して工事を行った。

4-1　ポンプへの適用技術

ポンプへの適用技術を**図2**に示す。

写真2に工場におけるポンプ仮組立状況を示す。

既設ポンプ形状はカサ-カサの二床式ポンプであったが，この形状では保証効率を達成することは不可能であった。また，既設の吸込・吐出し水路を流用するため，ポ

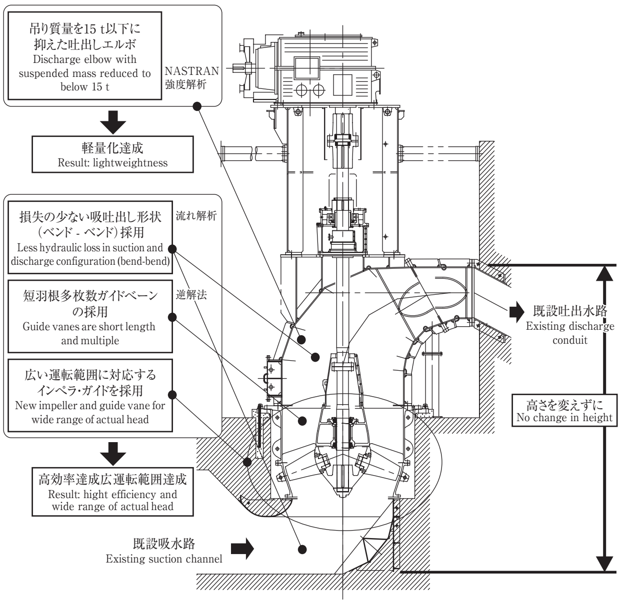
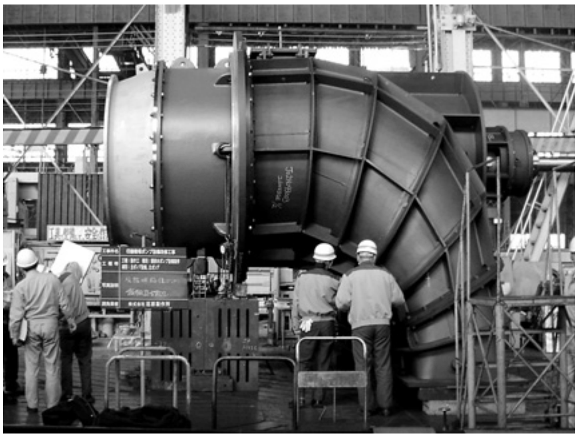
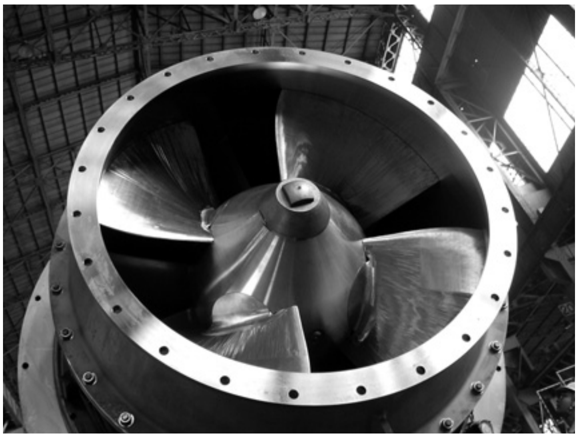


図2　ポンプへの適用技術
Fig. 2　Technology applied for new pump



側面
Side view



羽根車
Impeller

07-06 02/214

写真2　主ポンプ（工場仮組立）
Photo 2　Main pump (preliminary assembly at plant)

ンプの全高を低く抑える必要があった。

そこで，当社が他社に先駆けて開発した，ポンプ水力部品の設計方法である逆解法を用い，新規に開発した軸流ポンプのボウル部モデルを採用した。このモデルの性能的特徴は，計画実揚程2.5 mに対して最低実揚程0 mから最高実揚程5.516 mまでの広い実揚程範囲において，ストール領域がなくかつ高効率を発揮できることである。また，形状的特徴としては，通常のモデルに対して，案内羽根を短羽根多枚数化することにより，ボウル部高さを小さくしていることである。

更に，吸込・吐出し形状の決定には，流れ解析を用いた設計により開発した，低損失形状であるベンド形状を採用することにより，ポンプ全高を低く抑えつつ，広実揚程範囲に対応し，かつ高効率の軸流ポンプを実現することができた。

また，ポンプ部品中もっとも質量が大きくなる吐出し曲管部は，NASTRAN強度解析を用いた設計を行い，強度を確保しつつ，軽量化を図り，容量15 tのクレーンで対応できるようにした。

4-2　配置・機場システムへの適用技術

図3に機場配置上の適用技術を示す。

本工事は，既設設備と全く異なる形状・仕様の駆動機を設置する必要があり，特に，既設設備にはないディーゼル機関を設置するためには，ポンプ室内に新たな系統機器（給・排気設備，冷却水設備，燃料系統設備等）を設ける必要があった。そこで，立軸電動機掛けの限られた既設スペースに効果的なレイアウトをするために，エンジンサイレンサをセル形として薄型に設計し，壁の直近に配置することで，維持管理性を確保した配置とするとともに，工事中に運用されているポンプに干渉することなく施工できるようにした。前記のとおり，全く既設と異なる形状のポンプ・原動機を採用するため，既設ポンプ周辺の土木構造物はほとんど流用不可能となるので，この部分を撤去し，新しいポンプ・駆動機に合わせた土木構造物を再構築した。その際，土木再構築部分を極力小さくするため，ポンプは一床式を採用し，駆動機基礎は，必要な部分のみ既設ポンプ設置床から構築した。また，原動機床は，コンクリート床構造とせず，後の維持管理が容易で施工期間の短くてすむグレーチング床としている。

以上の結果，新設設備では，既設設備よりも土木部分も含めての全荷重を小さくすることができ，既設土木構造が耐えうる荷重条件を達成することができた。

4-3　現場工事への適用技術

図4に本工事におけるポンプ2台分取替工事の概略工程と適用技術を示す。

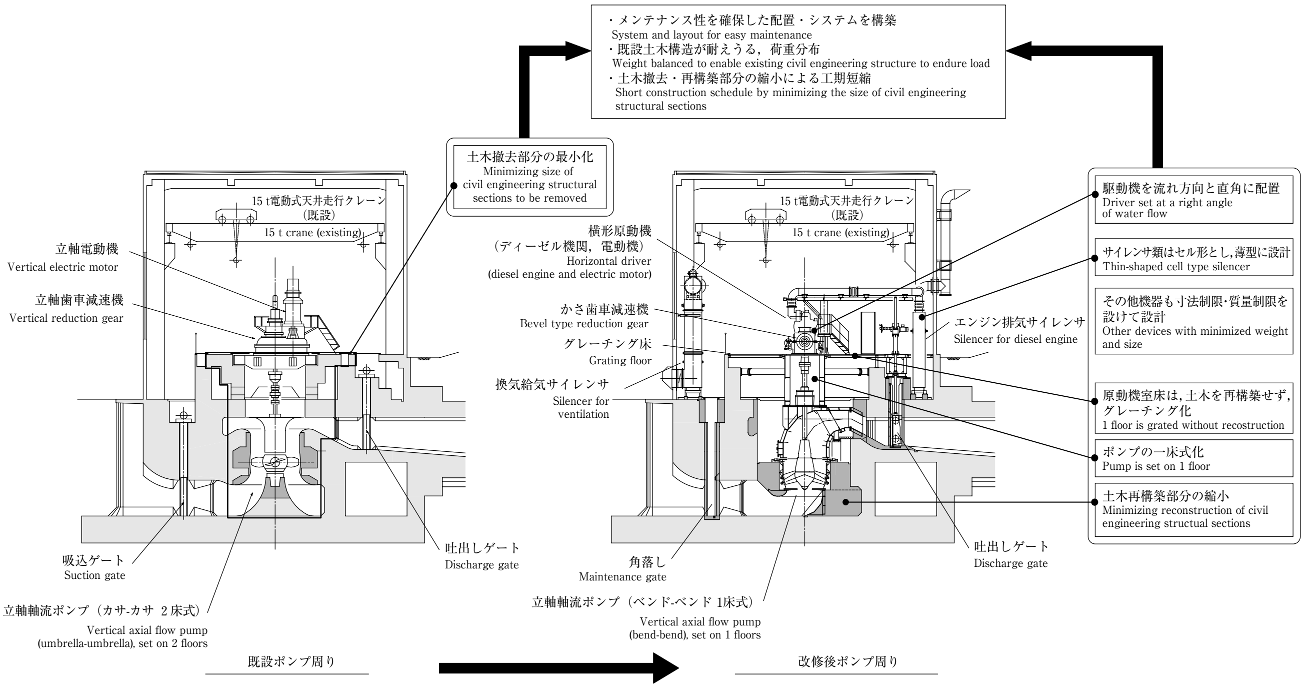


図3　配置・機場システムへの適用技術
Fig. 3　Technology applied for system

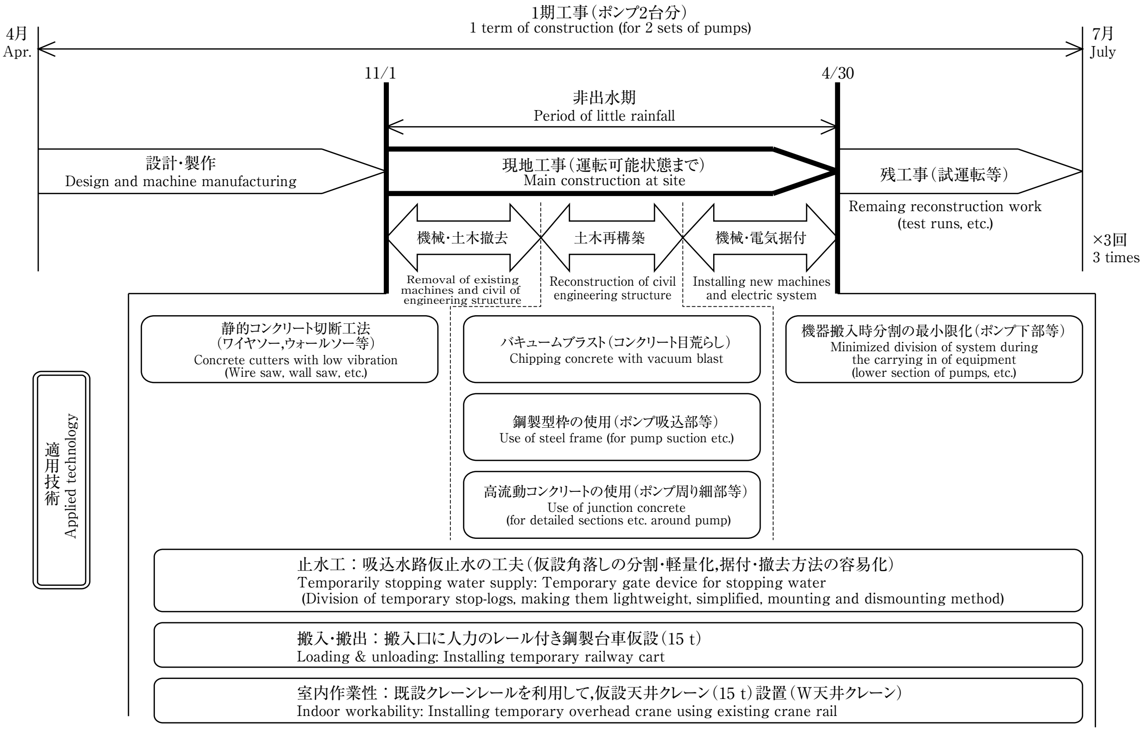


図4　2台分の改修工事工程と現地工事への適応技術
Fig. 4　Reconstruction work flow for 2 sets of pumps and the technology applied for construction work at the site

現地工事は，短い施工期間内（非出水期6箇月間）に，2台分のポンプの既設機械・土木部撤去，土木部再構築，新規設備据付を完了し，全台数運転可能な状態にする必要があった。このため，現地工事においては，各工種において様々な技術を適用して施工を行った。

特に，土木部撤去に関しては対象部分の数量が多く，従来多く使用してきた撤去技術であるハツリ工法は，時間的，また振動・粉塵の発生の観点から採用不可能であった。そこで，ワイヤソーやウォールソーといった静的コンクリート切断工法を複合的に採用し，土木撤去期間を短縮した。また，機械設備の撤去・据付工事においても工期短縮のため，据付・撤去が容易で作業性の良い仮止水設備，室内作業効率の向上のための仮設天井クレーン，搬出入の簡易化のための仮設レール付台車の設置等，様々な創意工夫を行ったことにより，短工期内での施工を達成した。

以上のように，機械設計・システム設計・土木施工技術・設備施工技術等の総合ソリューションエンジニアリングによって，種々の困難な条件を満足する設計・施工が可能となり，本工事を完遂することができた。

5. 終 わ り に

本工事のように，既設機場の土木・建築部分を流用しつつ，全く新しい設備に改修を行うという更新手法は，コスト低減，信頼性向上の両面から考えて，今後増加していくであろうポンプ場更新方法の一つであると考えられるが，新設のポンプ場における機械工事とは異なり，土木，建築，機械，電気の全体を総合して一つの設備としてとらえ，施工技術を含めたトータルエンジニアリングを行うことが必要となる。

本工事では，当社のもつ総合技術力によって従来のポンプ場建設において経験の無かった様々な技術を検討・採用し，工期を含め，仕様を十分に満足した施工を行うことができた。この結果，大型排水機場の更新技術に対し，工期短縮・コスト縮減の観点から種々の技術を蓄積できたと考える。

おわりに，本工事施工に関してご協力をいただいた協力会社各位，工事全体に対し多大なるご協力とご指導をいただいた水資源機構千葉用水事業所の関係各位に謝意を表する。