

# 北千葉導水路ポンプ設備の合理化検討

横田 篤史

利根川下流河川事務所 施設管理課 (〒287-8510 千葉県香取市佐原イ4149)

北千葉導水路のポンプ設備は運用開始から20年経過しており、メーカーが製造やアフターサービスを中止したことによる維持管理コストの増加が、整備・更新サイクルの長期化にも繋がっているため、設備の長寿命化計画の策定が必要不可欠となっている。今回、北千葉導水路機械設備について長寿命化計画の策定を行う中で、導水路としての機能と運用実績を照らし合わせて、効果的な施設運用が可能となるよう、設備構成の合理化検討を行ったので報告する。

キーワード 揚排水機場、合理化

## 1. 北千葉導水路の概要

北千葉導水路は利根川と江戸川を結ぶ全長 28.5 kmの導水路で、平成 12 年から運用している。

主な役割は手賀沼流域の内水排除（最大 80m<sup>3</sup>/s）及び坂川流域の内水排除（最大 100m<sup>3</sup>/s）、利根川から江戸川へ都市用水の供給（最大 30m<sup>3</sup>/s）、手賀沼の浄化の3つで、大きな設備として北千葉第一機場、第二機場、松戸機場の3つがある。このうち利根川下流が管理するのは、第一機場から大堀川注水設備までの 20.6 kmとなっている。なお、第一機場は排水機場として昭和 60 年から運用を行っている。

図 1 に北千葉導水路の全体図を、図 2 に北千葉導水路の役割を示す。

一機場は揚排兼用機場で、揚水専用の 5m<sup>3</sup>/s ポンプ 1 台、揚排兼用の 10m<sup>3</sup>/s ポンプ 5 台、排水専用の 30m<sup>3</sup>/s ポンプ 1 台で構成される。一方、第二機場は揚水専用機場で、5m<sup>3</sup>/s ポンプ 2 台、10m<sup>3</sup>/s ポンプ 3 台で構成される。

揚水は電動機、排水は内燃機関を使用するのが基本である（揚排水ポンプ設備技術基準）。そのため、第一機場の揚排兼用ポンプは揚水時は電動機、排水時は内燃機関に切替えて運転する。

揚水時の送水量の調節は、セルビウスによる電動機の回転数制御の他、液体抵抗器、吐出弁開度、運転台数を複合させて行っている。



図 1 北千葉導水路全体図

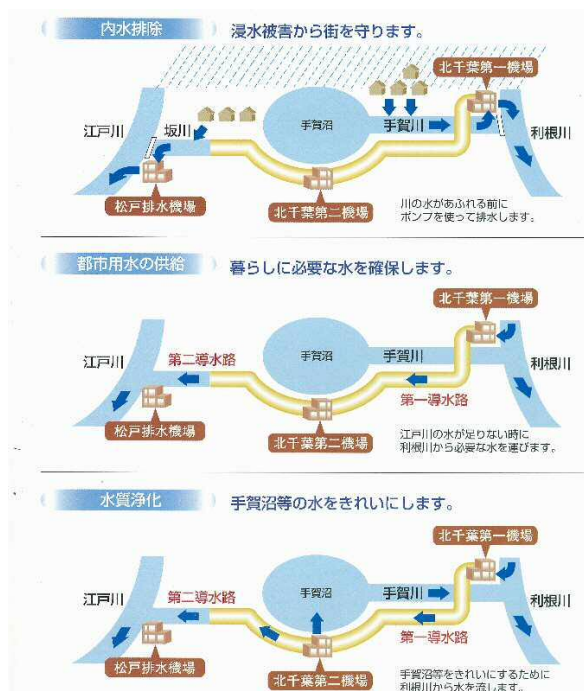


図 2 北千葉導水路の役割

## 2. 北千葉導水路における課題

現在、北千葉導水路機械設備について次の(1)~(3)の課題がある。

### (1) 送水コストの縮減

江戸川から利根川への都市用水の供給は増加傾向にあり、近年の異常気象などを考慮すると、今後も漏水の頻度は高まっていく可能性が大きく、江戸川への送水量は増えていくことが予想される。送水コスト（電気料）も増加するため、設備全体の維持コストが増えることになる。図3に H22~H30 年度の浄化用水と都市用水の送水実績を示す。

設備としての能力は最大限に発揮しつつ、送水コストは縮減させていかなければならない。

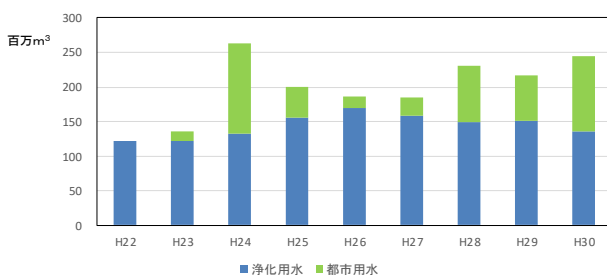


図3 浄化用水と都市用水の送水実績

### (2) 設備の更新コスト

運用から約20年、第一機場については30年以上経過し、老朽化が進んでいるため、設備を更新する必要がある。設備全てを更新とした場合、少なく見積もっても約250億円は必要と思われる。しかし、既に製造が中止され流通していないものもあるため、同一の設備で更新することはできない。

### (3) 製造中止機器等の対応

ポンプ駆動用電動機の回転数制御にセルビウスを使用しているが、現在の主流はインバータになり、製作者も撤退していることから、部品の調達や整備ができない状況となっている。

その他、ポンプ及び発電機の駆動用原動機も製造中止となっており、故障した際の部品供給体制に不安がある。

以上のことから、機械設備の合理化・省略化を含めた整備・更新の検討を行った。

## 3. 合理化・簡素化検討

設備の合理化検討を行うにあたり、排水機能、揚水機能に区分し、対象機器を絞り込んでいく。

### (1) 合理化検討対象の抽出

排水機能に係る設備機器については、信頼性の向上及び維持管理費の低減を目的に、揚水機能については送水範囲・制御方法から機器の合理化・簡素化が可能か

検討を行った。

| 装置・機器区分  | 検討方針                    | 検討対象                 |   |
|----------|-------------------------|----------------------|---|
| 操作制御設備   | 排水ポンプ設備としての操作機能を保持      | —                    |   |
| 主ポンプ設備   | 排水機能は現状(80m³/s)を維持      | —                    |   |
| 主ポンプ駆動設備 | ポンプ駆動用内燃機関はディーゼル機関使用    | —                    |   |
| 系統機器設備   | 燃料系統                    | ディーゼル機関なので燃料系統設備を継続  | — |
|          | 冷却水系統                   | 二次冷却方式を無水化することで合理化可能 | ○ |
|          | 始動空気系統                  | ディーゼル機関なので空気始動方式を継続  | — |
|          | 潤滑油系統                   | 内燃機関、減速機の更新時自己潤滑化    | — |
| 電源設備     | 予備発電機とすることで1台合理化可能      | ○                    |   |
| 除塵設備     | 排水機能 80m³/sに見合った除塵設備を維持 | —                    |   |
| 付属設備     | 各機器更新時に容量等を検討           | —                    |   |

表1 排水機器の合理化・簡素化の方針

| 装置・機器区分  | 検討方針               | 検討対象                 |   |
|----------|--------------------|----------------------|---|
| 操作制御設備   | 送水方法の検討から制御設備合理化検討 | ○                    |   |
| 主ポンプ設備   | 送水方法の検討からポンプ合理化検討  | ○                    |   |
| 主ポンプ駆動設備 | 送水方法の検討から電動機合理化検討  | ○                    |   |
| 系統機器設備   | 冷却水系統              | 二次冷却方式を無水化することで合理化可能 | ○ |
|          | 潤滑油系統              | 電動機、減速機の更新時に自己潤滑化    | — |
| 電源設備     | 送水方法の検討から電源容量検討    | ○                    |   |
| 付属設備     | 各機器更新時に容量等を検討      | —                    |   |

表2 揚水機器の合理化・簡素化の方針

表1、2のとおり、冷却水系統（排水、揚水）、電源設備（揚水、排水）、揚水機器（操作制御、主ポンプ、駆動設備）について合理化検討を行うこととした。

### (2) 冷却水系統の合理化

北千葉第一機場の冷却水系統設備は内燃機関や電動機などを冷却する重要な設備であるが、河川水を使用するための系統機器が多く、故障した場合は致命的である。また、塵をろ過するオートストレーナからの逆洗水が多く、所内排水ポンプが致命的機器となっている。

近年の排水機場では、中規模機場では管内クーラ、槽内クーラ、別置ラジエータ、クーリングタワーによる冷却方式が採用されている。管内クーラは北千葉のような大型のポンプには使えないため、「別置ラジエータ方式」「クーリングタワー方式」「槽内クーラ方式」が候補となる。

今回、北千葉第一機場では大容量かつ機器寿命が長く冷却効率も高い槽内クーラ方式を採用するものとした(表3、図4～5)。

| 構成機器          | 機能           | 備考     |
|---------------|--------------|--------|
| 原水槽           | 河川水取水        | 撤去対象機器 |
| 原水取水ポンプ       | 河川水の送水       |        |
| 原水取水用オートストレーナ | 河川水の濾過       |        |
| 二次冷却水槽        | 二次冷却水の貯水     |        |
| 冷却水ポンプ        | 二次冷却水、潤滑水の送水 | 新設機器   |
| 冷却水オートストレーナ   | 二次冷却水の濾過     |        |
| 槽内クーラ         | 冷却水、潤滑油の冷却   |        |
| 加圧ポンプ         | 一次冷却水の循環     |        |

表3 冷却水系統設備の簡素化案

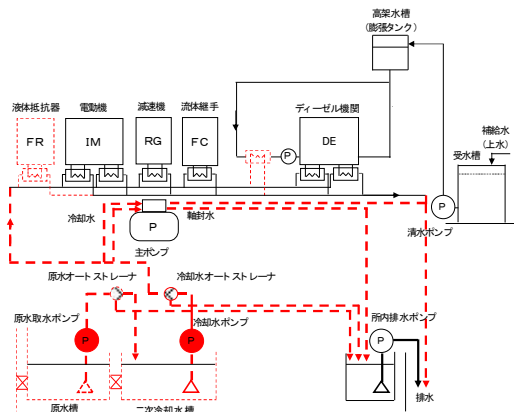


図4 冷却水系統機器(現在)

※赤は撤去対象

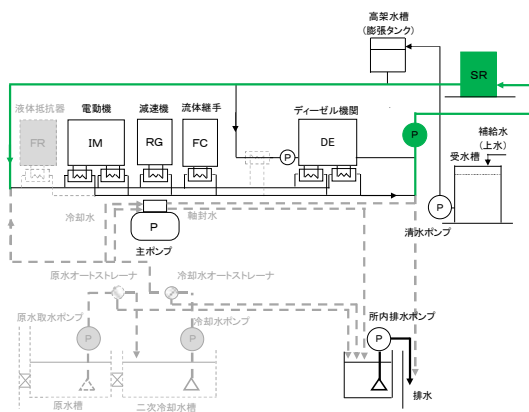


図5 冷却水系統機器(将来)

なお、第二機場についても系統機器は基本的に同じであるため、同様の簡素化を図る。

(3)北千葉第一機場自家発電機

建設当時(昭和54年)は排水機場としての運用が主であったため、通常の排水機場と同様に予備機を含め2台設置したが、現状では揚水運転用に特高受電を行っているため、自家発電設備は予備電源と位置づけ1台に集約する。

(4)北千葉第二機場自家発電機

北千葉第二機場の自家発電設備は、保安用のバックアップ電源であり、現状の機器容量形式で問題ない。

(5)揚水機器の合理化・簡素化

北千葉導水路機械設備合理化・簡素化を検討するために、前提となる送水方式について検討を行った。

a)送水条件

現状の設備機器による送水条件を表4に示す。現状の回転数制御はセルビウス制御装置によるもので、1台の制御装置を切換えて用いる機器系統になっている。

b)送水方式の比較

今後の北千葉導水路の必要送水量に対応した合理的な送水方法の検討案として、表4の送水条件(最小、最大送水量)を満足する送水方法(機器の組合せ)を比較検討した。

・セルビウス制御方式

大流量の送水には高効率であるが、電動機が高価かつ複雑な構造となり、制御範囲も60~100%と狭いため小流量では効率が悪いなどの欠点がある。

現在はインバータ制御に移行しており、製造を継続しているメーカーは少ない。

・インバータ制御方式

現在の主流制御方式。電動機が安価で構造が簡単であり、制御範囲も10~100%と広い。

既設の電動機が使用できないため更新コストはかかるが、制御範囲が広いと小流量の電気料が安くなる。

・液体抵抗器制御方式

液体抵抗器による制御は設置が簡単で手軽に使用でき、現在の電動機を流用できるため更新コストが安いなどの利点はあるが、効率が悪く、他の方式と比べて電気料が高くなる。

・内燃機関駆動方式

電動機の代わりに内燃機関を使用する。内燃機関本体や減速機、流体継手の更新や、機関重量の増大による機関本体の補強など、更新コストが高い。

・ 発電設備の利用

電力が大量に必要となる時だけ可搬型大型発電機をレンタルする。

可搬型大型発電機のレンタルは全国的に台数が少なく、必要な時期に確保できない可能性がある。また、長期になるとレンタル費用が電気料を超えてしまう。

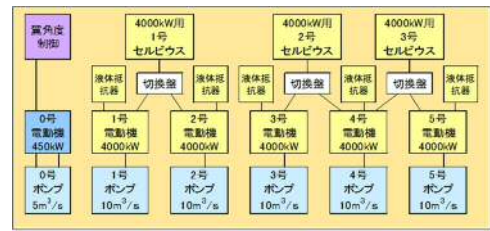
| 機関      | 送水量                     | 運転ポンプの組合せ                                   | 備考  |
|---------|-------------------------|---|---|
| 北千葉第一機関 | 1~5 m <sup>3</sup> /s   | 0号ポンプ                                       | 翼角制御<br>送水実績 4m <sup>3</sup> /s以上                     |
|         | 5~25 m <sup>3</sup> /s  | 1~5号ポンプ 2台 + セルビウス 2台                       | 5~15m <sup>3</sup> /sは弁開度制御を併用<br>※                   |
|         | 25~37 m <sup>3</sup> /s | 1~5号ポンプ 3台 + セルビウス 3台                       |   |
|         | 37~40 m <sup>3</sup> /s | 1~5号ポンプ 4台 + セルビウス 3台                       | 1台は固定速 + 弁開度制御  |
| 北千葉第二機関 | 1~5 m <sup>3</sup> /s   | 1~2号ポンプ + 液体抵抗器                             | 1,2号(160kW)運転台数組合せ<br>1~1.7m <sup>3</sup> /sでは弁開度制御併用 |
|         | 5~26 m <sup>3</sup> /s  | 3~5号ポンプ 2台 + セルビウス 2台                       | 5~15m <sup>3</sup> /sは弁開度制御を併用<br>※                   |
|         | 26~30 m <sup>3</sup> /s | 1~2号ポンプ + セルビウス 1台<br>3~5号ポンプ 2台 + セルビウス 2台 | 1,2号(1200kW)の1台運転                                     |

表4 送水条件と使用機器 (現状)

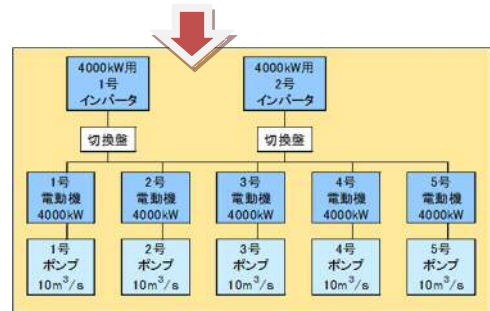
c) 北千葉第一機関の合理化

現状の液体抵抗器+セルビウスによる電動機制御からインバータ制御に変えることにより電動機及び制御機器を簡素化する (図6)。

過去の送水実績から最小流量は4m<sup>3</sup>/sであった (図7)。セルビウスでは10m<sup>3</sup>/sポンプを4m<sup>3</sup>/sまで絞ると効率が悪くなるため小流量用 (1~5m<sup>3</sup>/s) に翼角制御の5m<sup>3</sup>/sポンプ (0号) が設置されているが、インバータ制御にすることでこれ (0号) を不要とすることができる (図8)。



| 送水量                     | 運転ポンプの組合せ             | 備考                                |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 1~5 m <sup>3</sup> /s   | 0号ポンプ                 | 翼角制御<br>送水実績 4m <sup>3</sup> /s以上 |
| 5~25 m <sup>3</sup> /s  | 1~5号ポンプ 2台 + セルビウス 2台 | 5~15m <sup>3</sup> /sは弁開度制御を併用    |
| 25~37 m <sup>3</sup> /s | 1~5号ポンプ 3台 + セルビウス 3台 |                                   |
| 37~40 m <sup>3</sup> /s | 1~5号ポンプ 4台 + セルビウス 3台 | 1台は固定速 + 弁開度制御                    |



| 送水量                    | 運転ポンプの組合せ             | 備考               |
|------------------------|-----------------------|------------------|
| 1~40 m <sup>3</sup> /s | 1~5号ポンプ 5台 + インバータ 2台 | インバータ制御範囲外は弁制御併用 |

図6 北千葉第一機関合理化案

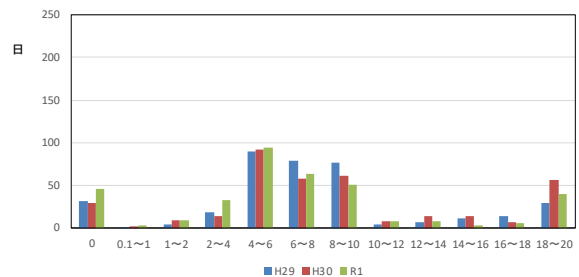


図7 北千葉第一機関送水料別年間運転日数

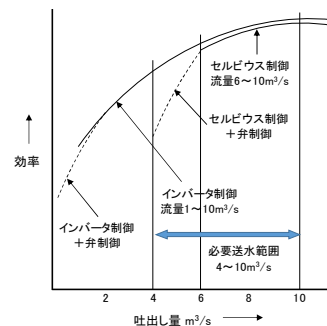


図8 セルビウス制御とインバータ制御のポンプ特性

d) 北千葉第二機関の合理化

北千葉第一機関と同様にインバータ制御に変えること

により、電動機及び制御機器の簡素化を図る（図9）。

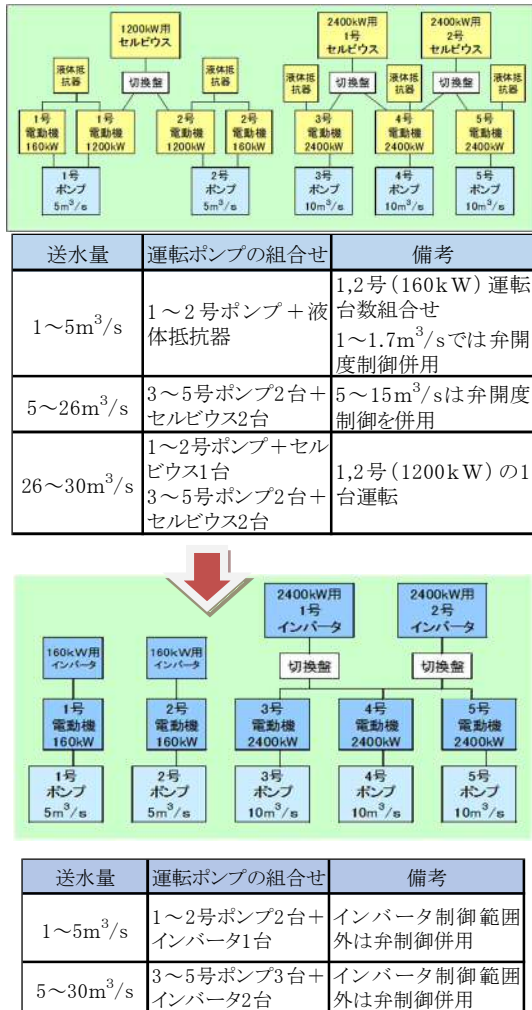


図9 北千葉第二機場合理化案

北千葉第二機場の送水実績から最小流量は1m<sup>3</sup>/sであった。10m<sup>3</sup>/sポンプを1m<sup>3</sup>/sまで絞り込むにはインバータ制御でも弁開度制御を併用する必要があるため、効率は悪くなる。北千葉第一機場と違い、年間運転日数では送水流量1～2m<sup>3</sup>/sでの運転が多いため（図10）、弁制御の併用では効率が悪くなることから5m<sup>3</sup>/sポンプは継続使用となる。

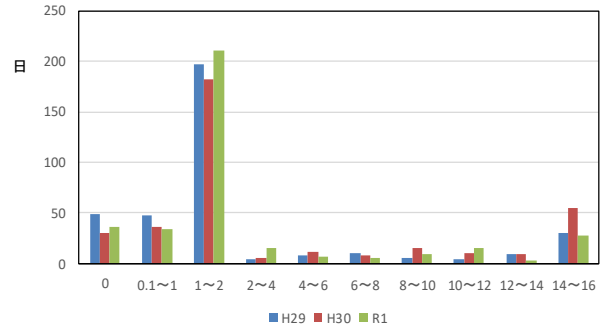


図10 北千葉第二機場送水料別年間運転日数

#### 4. 最後に

当初の計画では、今回の検討結果に基づく長寿命化計画について有識者による検討委員会を開催し、了承をいただくという方針であったが、様々な外的要因によりいまだ開催できていない状態である。しかし、セルビウスのような重要な機器が整備困難な状況は設備の維持管理において問題であり、予算要求などある程度先行させて行っていく必要があると考えている。

また、技術は日進月歩であり、今日できないものでも将来的に安価に可能となるものもあり、整備や更新を行う際には最新の技術動向や将来性なども考慮していくことが技術者として必要だと考える。

