



電機技術者から見た 水の半世紀

蔵前バイオエネルギー
瀧田正人

1. 初めに

- 1970年に総合電機メーカーに就職し、重電の本社技術部としてエンジニアとしての歩みを始めたが、その前の10年を振り返ると、**高度成長と環境汚染**の時代であったと実感する。
私の育った横浜、金沢文庫は山あり、海ありで、海では海水浴、アサリの潮干狩りを楽しめ、海苔の養殖もあったが次第に汚染され、無くなっていった。
山も宅地開発で無くなっていった。

- 高校まで、横浜しか知らなかったが、大学に毎日、東横線で多摩川を渡るようになり、驚いたのが水道水のカルキ臭とその多摩川の鉄橋脇の堰の泡の凄さであった。



現在の調布取水堰の写真

3

私が大学生となり、毎日 横浜から東京に通うようになって驚いたのが、水道の水のカルキ臭いことと、東横線の多摩川鉄橋から見える多摩川の堰の泡がすごいことでした。写真はつい先日その堰の写真で、上の構造物は東横線の鉄橋です。目線を下流側に移すと、鴨が何羽か泳いでいました。土手を少し歩いただけですが、きれいな川でした。

- 1970年に水質汚濁防止法が施行され、河川や海に放出される排水は規制される共に、下水設備が増強されていった。特に1980年代の日米経済摩擦での内需拡大への外圧もあり、低かった下水道比率は年々上昇していった。
- 水質汚濁防止法
カドミウムや重金属、有機溶剤他の様々な物質の排水への規制とともに、BOD／CODなどの一般的排水汚損規制。
また、東京湾／瀬戸内海／伊勢湾等に対しては、その海域の自浄力に限界があり、また多数の市町村が関与するため、総量規制が課せられている。

4

私が卒業した1970年に水質汚濁防止法が施行され、あの多摩川調布取水堰から水道への取水も行われなくなりました。
この法律で汚い水を河川に流すだけでなく、低かった下水道普及率の向上が図られました。
また、東京湾を考えてみてください。神奈川県・東京都・千葉県 ものすごい人口と産業が取り巻いています。
ここで、法律のBOD 20 ppm以下の水質ならOKとしていたら、東京湾の自然浄化力を上まってしまう。
そこでかんがえだされたのが、総量規制です。
下水道は市町村の責務です。東京湾に排水するすべての市町村がトータルを守るために自分はどれだけにするという
ことを納得して実行していくことになったのです。
素晴らしいですね。金のある大都市がたくさん出すのだから、都市部ではない我々は少しくらい出しても構わないなんて
最近のCO2削減の国際会議の紛糾の逆ですね。

2. 監視制御システムの変遷

- 1970年代当初は殆どのプラントが、いわゆるアナログで接点信号であり、主要な圧力や流量に限り中央監視室まで信号を個別に引っ張ってきて個別のメーターで指示していた。世の中で、まれに中央のコンピュータによる監視制御としてDDC (Direct Digital Control)が採用されていた。このDDCでは、プラントの監視制御に必要な状態信号（接点）の点数、指令信号（起動・停止の接点）、圧力、流量、温度等のアナログ入力信号や指令信号等を全てコンピュータのI/Oとしていた。これは、高価格の最大要因でもあった。

5

仕事を始めたころは、監視制御というと中央には大きな監視盤というメーターや故障や状態を記す表示ランプやそれをわかりやすく並べるためのプラントのダイアグラムなどでできているものと、操作デスクという各種のスイッチをならべてものでできていた。そこにコンピュータを適用するものが始まったころであった。当時はDDC Direct Digital Control と言われたシステムで全ての接点信号、プロセス信号の入出力を計算機でやっており、高価になる最大要因でもあった。入社1～2年目くらいだったような記憶ですが、上司からたしか千葉の化学プラントの事故はコンピュータを適用するときに温度信号の点数を以前よりも少なくしてしまい、一部の温度異常が見落とされたものと注意を喚起された。それもあり、DDC装置の引き合いがあると、このI/O点数の確認から初めた記憶である。

- この頃に、DDCの中央計算機とは別に、米国発でシーケンスコントローラというものが出現した。これは、従来膨大なリレー、タイマーなどで実施していたプラントの状態や指令に基づく自動制御に特化したもので、急速に普及していった。この装置に際しては、コントローラの信頼性が問われ、ウォッチドッグ（番犬）機能の充実・向上が図られたと共に保護装置からの信号から機械の緊急停止等はバッファリレーの回路で実施などのシステム全体による信頼性向上技術が進歩した。

6

このシーケンスコントローラは当初、論議を巻き起こしました。最大の論点は、高価になってしまうことでした。次の論点は信頼性です。コンピュータが誤動作したら、どうするのかです。まず、この信頼性の課題が取り組まれました。コンピュータ本体の信頼性では、ウォッチドッグ、番犬という英語が技術者にとって普通の言葉になってしまい、プログラムの誤動作の検出とそうであっても制御は正常にどうやって継続させるのかなどのシステム全体での信頼性向上技術が進歩していきました。

- シーケンスコントローラの普及でコンピュータの適用技術として **SCADA** (Supervisory Control And Data Acquisition) システムに進歩した。
このコントローラ毎や中央との信号の授受が必然であり、プラント全体で数千本以上になる電線を個別に敷設する事よりもコントローラ間、中央～コントローラを**デジタル信号伝送**することが求められた。
当初、電話交換機のようなものと、現在のランのようなものが競合したが、急速にランのものが普及していった。

7

シーケンスコントローラ、別名プロセスコントローラが普及から中央コンピュータのDDCが
次のSCADAシステムに進化していきました。
この時に、コントローラ間や中央コンピュータとの信号授受が当然課題になり、数千本、数万本の電線を個別敷設するよりも、その間をデジタル信号伝送することが
もとめられた。
当初、電話交換機のようなものと、現在のランのようなものが競合した。
ランに対して、ケーブルが切れたりしたらどうするという課題提起がでたが、一カ所きれたら、逆向きに
してとか、ランの二重化等がすぐに提唱され急速にランの形態が普及していった。

- 伝送ケーブルは同軸ケーブルという「電線」であったが、製鉄プラントの圧延設備において、あの赤い鉄が走り、ローラーで押しつけていくそのコントローラ間を伝送で接続するときに伝送量等の検討で 10 Mb/sec の速度が要求された。
しかし、電気信号の同軸ケーブルでは、距離による減衰が大きくて、使用できないことから、光ケーブルによるものが開発された。
この光による伝送は、速度だけではなく、電力ケーブルからのノイズ問題が全くないことから、瞬く間に普及していった。

8

（電気から光へ）

通信の世界では採用されはじめていた光ケーブルによる伝送がプラント内部、工場内部の信号伝送が初めて適用されたのが、あの製鉄所の赤く光る鉄が走る圧延ラインでした。

熱い鉄をローラーを押し当てて伸ばしていく圧延機毎のコントローラ間の信号伝送

で 10 Mb/sec が要求され、電気の同軸ケーブル伝送では減衰が大きくてダメなところを光の採用で実現できたのが最初でした。

この光ケーブルによる信号伝送は光と電気の変換ユニットを要するのでその分、コストが高くなる方向ですが、このように光じゃなくては不可能というもの以外でも

伝送路の敷設の容易さからドンドン普及していきました。

- 同時に計装のDigital化も進み、調節計がDigital化されたということは、アナログ信号のプロセス値（圧力、流量、温度等）が調節計のなかでDigital信号化された。
これは当初からのプラントのコンピュータ制御の高価格要因である I/O が末端で全てDigital信号になって、敷設方法が容易かつ安価で高速な光伝送となりSCADAシステムの普及となった。
- この“伝送”で重要なことは正しく伝送されたか、誤送信をどの様に見つけて、正しいものにするかということである。
反転二重転送とかJIS方式とか、メーカー等がその優劣を競っていた。
現在は通信プロトコルとして、主にメール他に使用される高信頼性のTCPとZOOMや映像配信の高速重視のUDPが一般的で、監視制御用の独自のものである。

9

シーケンスコントローラよりも若干後からになりましたが、4～20 mAのアナログの世界であった
計装の調節計もデジタル化されてきました。
このコントローラとデジタル調節計によって、プロセスの膨大な接点信号と温度や流量などのプロセス情報が全て
デジタル情報となり、それが光伝送されてSCADAシステムが高度化して普及した。

子供の時から、インターネットで情報のやり取りをしてきた人々には、考えられないとおもいますが、この信号の
伝送にはその結果の信頼性の問題が当初からありました。
送られた情報が正しくつたわったのかのチェックとミスの訂正は反転二重転送やJIS方式とかメーカーや国家としての競争がありました。
一般的なインターネットの世界ではTCPというものがスタンダードになり最近の映像配信や多分今日使用している
ZOOMは誤配信訂正より、高速配信のUDPがスタンダードになっているようです。
監視制御では全く別の独自のものです。

- SCADAシステムにて、前述はS C（監視制御）であるが、Data Acquisitionとして、日報、週報、月報などの作成をコンピュータが人間の肩代わりした。
次にはプラントの重故障時にプラントの細部まで、どのような運転状況であったか、また発生後どのように推移したか、人間には不可能な詳細記録も実現された。
- 中央の設備も機能単位で構成され、二重化等の高信頼性が図られてきた。
- ここで、重要なことは、中央コンピュータやコントローラはリアルタイム処理という会計や事務処理用と異なり、割り込み処理等をもつものであり、またそれを結ぶ伝送装置は数段階の優先機能等を持つ必要があり、単なる処理速度だけではなく、監視制御分野独特なものであることである。

10

これまではSCADAのSC Supervisory Control 機能をのべてきましたが、DA（Data Acquisition）としてプラントのほとんどの情報をコンピュータがもっていることから、日報、週報、月報などの作成をコンピュータがやれるようになりました。
またフォールトレコーダとして人間には不可能な重要事故時の詳細記録も実現しました。

SCADAシステムのコンピュータは処理速度の問題だけでなく、事務処理用にはないリアルタイム処理が必須で割り込み処理等のプラントの監視制御特有の機能を要求される。また伝送装置も数段階の優先処理が必要になる。

これらが、監視制御用のものが独特なものになります。

- また、ここでの永遠の課題は、プラントの様々な故障発生を**どのように表示**するかということである。

末端の些細な故障を中央でアラームしていると、監視員がオオカミ少年を無視してしまうようなことがおきてしまう。

ある下水処理場で、工業用水を処理水を砂ろ過で作っていたが、その濾坑圧高という故障を緊急性がないと判断していたところ、工業用水が不足し、汚泥焼却炉の排風ファンが緊急停止し、焼却炉も緊急停止してしまったこともある。

濾坑圧高はプラントとしては軽微であっても、濾過水量低下から工業用水不足になる前に、**保守員にどうメッセージ**をだせるかである。

11

これもある意味でテクノロジーなのかもしれませんが、大きなプラントの監視制御でメーカーのテクノロジーではないところにあるのが、故障表示をどのようにメッセージすればよいのかということです。

些細なことまで、それが起きるたびにアラームしてはオオカミ少年問題になってしまいます。

私が収めたプラントで実際に起きた問題がこれです。
些細な故障を当然軽視していたところ、故障連鎖で重要機器が緊急停止してしまったのです。

- これに対する一つの回答は、[オンラインドキュメンテーション](#)であろう。

一昔前の家電製品には分厚い説明書があったが、近年は高機能、多機能の塊と言ってよい[スマホですら、ペラペラの紙](#)、一枚である。

スマホに自分で取り込む、アプリはその紙すらない。

3.11の東日本震災にあった茨城県のマンションに住む友人は、自宅であるマンションの被害はなかったが、風呂に入れたのは3月末であったとのこと。

故障停止したマンションの高架タンクへのポンプ設備の[イニシャライズができなかった](#)ため、業者が巡回するまで、水がもどらなかったのである。

12

オンラインドキュメンテーション、これが答えなのかもしれません。
そもそもは、アメリカ海軍のイージス艦と聞いています。この船に搭載されている多数の
装置の取説を従来の本にすると、船の喫水が沈んでしまうということだそうです。

- このSCADAシステムの監視制御の本質ではないが、日本にはあまり要求されることがないが、欧米及びその影響を強く受けた一部の東アジアで要求される仕様がある。

操作する人の役職により、監視・操作できる範囲が異なるようにすることである。

あるサブプロセスの担当者は、前後のプロセスの操作できないのは理解できるが、その状態を観ることもできない。

逆に、自分の事だけをしていればよく、その結果として他がどうなろうとも、知ったことではないことになる。

- 自動車電話や携帯のなかった時代のニュースであったが、
米国のある浄水場から町への送水本管が破裂し、膨大な
水が溢れかえる事件があった。
浄水場の出口にある緊急遮断弁を閉めて水を止めるのに
半日以上もかかった。
それは、緊急遮断弁を閉める権限は浄水場長であり、彼が
たまたま出張中に起きた事故であり、連絡を受けてから
戻って操作するまで、時間を要してしまったのである。

- 決裁権限が役職にリンクすることは、組織として当たり前。

決裁プロセスとその結果に基づく、操作は別であり、
コンピュータによる操作員の認識と権限からの操作範囲の
限定がなくても問題が起きない社会／組織がいいと考える。
下は自らの裁量範囲を理解し、その結果として上に、自由に
（報連相）報告、連絡、相談する。
上は自らの決定の実現を機械に精通した者に実施させること
ができる。

こんな社会／組織がいいと実感します。

3. 可変速ドライブ装置

- 電機メーカーの立ち位置からすると、この数十年間はトランジスタが世の中を変えたといってよい。トランジスタラジオが生まれた頃は、爪先程の大きさであったが、その顕微鏡サイズが始まり、IC・LSI・ASICのCPUのダウンサイジングとメモリーの大容量化が普及し、数千円で数GBのフラッシュメモリが購入でき、誰もが高機能コンピュータであるスマホを持ち歩く時代になった。

16

現在は、半導体の3文字で書かれていますが、シリコン結晶の薄膜に、電気回路とトランジスタやダイオード等の回路素子等を書き込んだものが、出現し、それがドンドン、微細になってミクロンどころかナノ 10 のー9乗レベルまで来ています。あのメモリーでは、1, 0の信号を入れておく小部屋が小さくなって、小部屋の数を増やすために小さくするだけでなく、それを高層ビルにしてメモリーチップの容量をあげてきています。その結果、ひと昔前は夢に描いた高機能コンピュータに高機能通信装置を内蔵させたものを誰もが持ち歩くようになりましたね。

- その逆のトランジスタの大型化で実現したのが、1970年代の終わりに出現し、急速に普及したインバータドライブ装置である。
今では、ほとんどの家庭のエアコンだけでなく、冷蔵庫、洗濯機などの動く機械は換気扇以外は全てインバータである。
プラントでは、その稼働状況で、流量・圧力などを調節するためにバルブの開閉でやっていたものを、ポンプの速度をインバータで変えることになった。
実は、容易にできる以外に、バルブ制御よりも2～3割効率向上になる省エネ効果がある。
オイルショック後はこの省エネもあって、普及が進んだ。

17

1970年代の終盤に開発されたのが、パワートランジスタを利用したインバータドライブ装置です。
家電製品としても、インバータエアコンとして急激に普及していききました。
家庭よりも前に工業の世界で先に受け入れられていたのです。
プラントでは、多数のポンプやブロワーで流量や圧力などを調節していたのであうが、これをモーターの
起動停止やバルブの開度調節でやっていたものを、速度を変えて、簡便だが高度に調整できるようになったのです。
これは、プロセスの調整をスムーズに行うばかりでなく、効率が2～3割よくなったのです。

- インバータは交流を一旦、直流に変換するために高調波が発生する。
この高調波は電源の5、7、11、13・・・の $6N \pm 1$ 次で発生し、その大きさは $1 / (6N \pm 1)$ である。
このように容易にその大きさは算出できるし、その障害も予想ができ、対策もフィルタ設置など、当初から計画すれば問題は起きないし、問題事例も少ない。

18

インバータとは、交流電源をまず直流に順変換（コンバータ）してその直流を交流に逆変換（インバータ）してその時の周波数を変えてモーターの速度を変えるものです。
この時に高調波が5次、7次、11次13次・・・と発生し、その大きさは $1 / 5$ 、 $1 / 7$ 、 $1 / 11$ 、 $1 / 13$ ・・・になります。
このように、数百Hzというあまり高い周波数ではないものなので、事前に対策も立てられるし、もしも事後となっても対策は容易に立てられるので問題になることは少ない。

- 前記の**高調波は逆相電流**を含んでいるため、
3.11以降、プラントに非常用発電機を設置することが増えたが、
発電機は許容逆相電流が比較的小さいので、**インバータの
約5倍程度**の大きさを要する事は注意を要する。

(実際の計画時には、発電機メーカーによる検討を要する)

19

電気回路の専門的な解析に

電流を正相、逆相、零相の3つに分類があります。

零相とは漏電電流です。

正相は力を生み出すそのものの電流で、逆相は力と逆向きに流れるものです。

この逆相電流が電源となる発電機に悪さをします。

その結果、発電機の容量がインバータの5倍程度であることが必要になります。

この許容逆相電流は発電機がダンパー巻線があるかで、大きく変わりますので
メーカーに問い合わせると記載しました。

- インバータは1秒に数千個のパルスを作って、直流から交流に逆変換（インバータ）している。
このパルスには、詳細をオシロでみると、四角のパルスに影がついている。この影がノイズであり、数百kHzから数MHzの帯域で発生している。
このAMラジオとほぼ同じ帯域のノイズ問題はそれが起きるとその対策は非常に困難である。
それは、一端がアースされている接地線や金属架台などでも伝搬してしまうからである。

20

次はノイズの問題です。

1秒間に数千のパルスを作っているのですが、この四角いパルスにオシロでみると

影がついている。この影がノイズなのです。

実は、開発当初のころでありましたが、埼玉のある小さなポンプ場で問題がおきました。

それは近所のうちのオーディオ機器に騒音がでるようになったのです。

そのポンプ場は小さいものであったので、200V受電でインバータドライブを適用していました。

近隣の住民からクレームがあったとの水道局からの連絡で、研究者や試験員を派遣して調べた

結果、このようなことであることが判明し、その後ラジオノイズフィルタと呼称されたものを設置し、

さらに受電点に200V／200Vの変圧器も設置したのが最初である。

- このラジオ周波数帯域のノイズ対策
 - (1) インバータを含むパワー回路と制御の回路を別の変圧器による分岐する。
 - (2) 接地極は上記により別とし、接地線の敷設ルートも隔離する。
 - (3) インバータにはノイズフィルターを設置する。
(特殊な金属の輪をケーブルを通す簡便なものもある)
 - (4) インバータ収納盤等の設置架台は絶縁する。

21

この(1)(2)はいままでと全く逆のやりかたであるので、この基準の実施は結構難しいものがあります。
盤の架台を絶縁するのも同じですが、この絶縁というものが、せいぜい20～40Vに対してのもので、紙1枚程度で十分、効果があります。

4. これからの水処理

- この50余年、汚染された水を処理するだけから始まったが、湖、沼等が茶色に濁る **富栄養化対策**として**窒素除去**がまず取り組まれた。これは汚泥を嫌気性分解させることである。この時の発生**メタンガス**の**有効利用**で**発電機**が採用された。このガスは水分を多く含んでいたため、エンジンのピストン損傷があり、高頻度でピストン交換が必要になった。これも解決され、**消化ガス**と呼称される汚泥の嫌気性分解ガスの発電利用は普及している。

22

消化ガスの利用に関しては、当初エンジンの燃料として発電でしたが、最近は色々とテクノロジーが進歩し、水素の取り出しとか数種類の実用できるものが開発されているようです。

- 浄水の水源問題は量の確保とその質がある。
水道の水質が近年、改善されたのには、水源の水質向上とそれ以上に効果があるのは、**オゾンによる高度処理**である。
オゾンはガラス電極間に乾燥空気を流して得られる。
このオゾンと活性炭吸着効果を利用した高度処理でカルキ臭の余りない浄水を得ることができる。
また、地方の浄水場で水質的には問題ないが、水が何かの臭いが付いたようなことでも**オゾンで脱臭**することがある。
また、**工場排水で着色問題**があるときもオゾンで解決できることも多い。

23

大都市の水源の劣化対策としてオゾンと活性炭を利用した高度処理が開発され、水道をおいしい水にすることができるようになりました。
このオゾン処理は臭いの除去や排水の着色の解決にも威力を発揮します。

- 都市の下水処理は進んできたが、富栄養化の対策としてこれからは窒素以外にリン除去の必要性が望まれている。下水からリンの除去には、従来からの下水処理方法との両立から晶析法等が提唱され、実施されはじめている。

窒素やリンの除去は湖、沼の富栄養化対策だけでなく、海の赤潮対策にもなっている。

- リタイヤして、よく周辺の散歩するようになって気づいたのは横浜のような大都市の市街地を流れる河川がきれいになって魚が泳ぎ、小鳥が水浴びし、遊歩道によっては子供が遊ぶ姿がみられることである。
- このように目に見える形で、自然を取り戻しだしたのはうれしいかぎりである。
しかし、河川がきれいになってきたのに、20年前にはよく見かけた赤トンボが郊外のゴルフ場でもまったくいなくなったように思われる。
自然を取り戻すのには、課題が多いと実感します。