

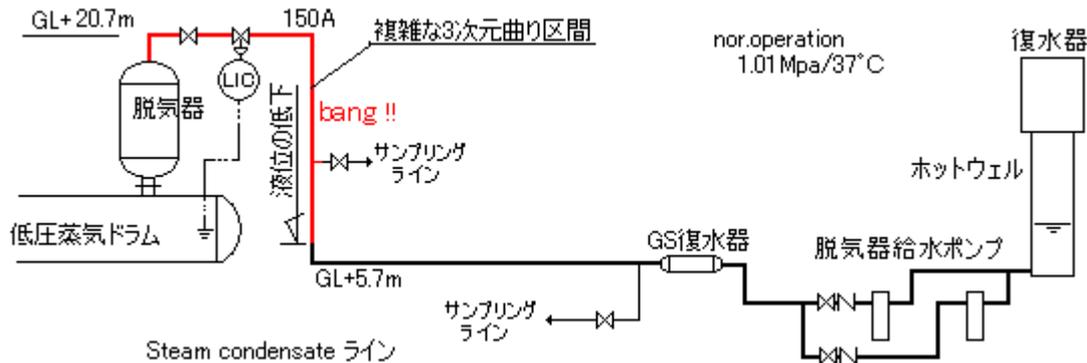
【整番】FE-06-TC-001	【標題】発電設備の水撃トラブル
分類：流れ(過渡流れ)／種別：トラブル事例	作成年月：H18.6／改訂：Ver0.0 (H18.6) 作成者：N.Miyamoto

全4枚

## 【スチームコンデンセート系の水撃トラブル】

## 1. あらまし

運転にはいつの間もないI発電所3号機の蒸気タービン下流 Steam Condensate ラインで、激しいハンマリング現象が観察された。以下、その状況 / 原因とメカニズム / 是正措置を示す。



## 2. 状況

上図に系のフローを示す。復水器で凝縮した水はホットウェルに蓄えられ、給水ポンプによってドラム上の脱気器にフィードされている。この場合、DSS 運転のために給水ポンプは夜間停止して毎朝起動される。ハンマリングは給水ポンプを起動した直後に起きた。発生箇所は脱気器に向かう上昇区間(朱記部分)。ドカーンという爆音とともに目視数 cm に及ぶ垂直管の揺れが観察された。

## 3. 原因とメカニズム

この発電設備は全自動運転になっている。ポンプ吐出弁は手動弁で常時開いており、チェック弁のみが開閉する。ポンプが停止するとチェックが閉じて吐出ライン(150A)は満水で保持されポンプが起動するとチェックが開いて急に流れだす。その時、管内を圧力波が伝播して、各ターンエンド間の差圧変動によって配管の揺れが起きることがある(\*1)。しかし、それは爆音を生じるようなものではない。これと異なるもっと激しい衝撃荷重が予想される。そこで、現場で種々試行を行なったところ、

【サンプリングラインの弁を閉じて満水保持するとハンマリングが起きない】

ことがわかった。このことから、

自動運転のため満水保持状態になってもサンプリング元弁は閉じられることはなく、そのためサンプリング装置側に推定 20l/hr の水が流出、上昇管の液位の低下とともに空気が入り込んで気液界面ができ、再起動時にそれが曲り壁に激しく衝突してエアハンマリング(\*2)を生じた

と推定された。上昇管は複雑な三次元曲がり配管になっているので、衝突が繰り返されて配管は大きく揺れ危険な状態にあったと思われる(\*3)。

## 4. 是正措置

種々考えられるが(\*4)、サンプリング側に背圧弁を設けた。即ちポンプ圧のないやや低圧の満水保持状態では流れを遮断し、やや高圧の運転状態では流れを開放するようにした。ただし未確定

脚注 (\*1) 下図(A)に示すように管路を伝播する圧力波には時間遅れがあるため各ターンエンド

(曲がりや分岐など)にアンバランスな力がでて管は揺動する。これが通常の水撃現象である。流体はまだ気液分離せず単相流れのままである。

- (\*2) エアハンマリングは俗称で、下図(B)のような現象を指す。管の中で空気などのガスと液体が分離し、ポンプ揚力などで押しやられて密度の低いガスが通過した後、液体スラグ(水塊)が、障害物(例えば曲がり壁/分岐壁/弁体/オリフィス板など)に衝突することを云う。この衝突後の瞬間的圧力上昇は、次式で得られる。

$$\Delta P = \rho V_0 C \quad \text{ここで、} \rho = \text{液体スラグの密度、} V_0 = \text{衝突速度、} C = \text{液体音速}$$

本ケースでは  $\rho = 102 \text{ kg/m}^3$ 、 $V_0 = 3 \text{ m/s}$  程度、 $C = 900 \text{ m/s}$  程度と見積もって

$$\Delta P = 102 \times 3 \times 900 = 2.75 \times 10^5 \text{ kg/m}^2 = 27.5 \text{ kg/cm}^2$$

と、かなり大きい。作用面積を管断面積の半分程とすれば、作用力は

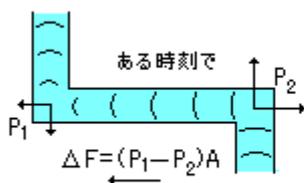
$$F = \Delta P (A / 2) = 2.75 \times 10^5 \times 0.7856 \times 0.15^2 / 2 = 2430 \text{ kgf}$$

になる。パルス波であることあるいは配管が柔らかいことから破損には至らなかったようだが、相当の音響/揺れがでたのではないか？

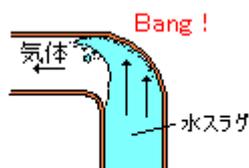
- ( 蛇足ながら、類似のハンマリング現象として、下図(C)がある。これは液の一部が気化して気体スラグができ、これが周囲温度の降下や加圧によって急凝縮し液体スラグ同士が衝突する現象である。ポンプトリップ時の気液分離&再結合と同じ現象である。飽和温度近くで運転される設備ではポンプトリップがなくても様々な形でこの現象が起こるので注意を要する。)

- (\*3) 気液界面即ち水スラグの衝突によって過渡振動が起きるがその周期(多分、ポンプ立ち上がり時間の4倍ぐらい?)によっては配管やラックの固有振動と共振することもある。

- (\*4) 衝突時の圧力上昇は衝突速度に依存する。然らば給水ポンプを締め切り状態で起動しそれから吐出弁を徐々に開いていけば  $V_0$  は遅くなり圧力上昇は減少する。本ケースでは脱気器直前に遮断弁があるが、これをポンプ出口に移し始動時、除開する案がある。あるいは、満水保持時にサンプリング弁を閉止しておきポンプ起動の後、開にすることも考えられる。ただ、この場合、サンプリング装置内のPH計の電極を、完全に乾かしてしまわないように留意する。



(A) 波動の遅れによる水撃



(B) 水スラグの衝突による衝撃

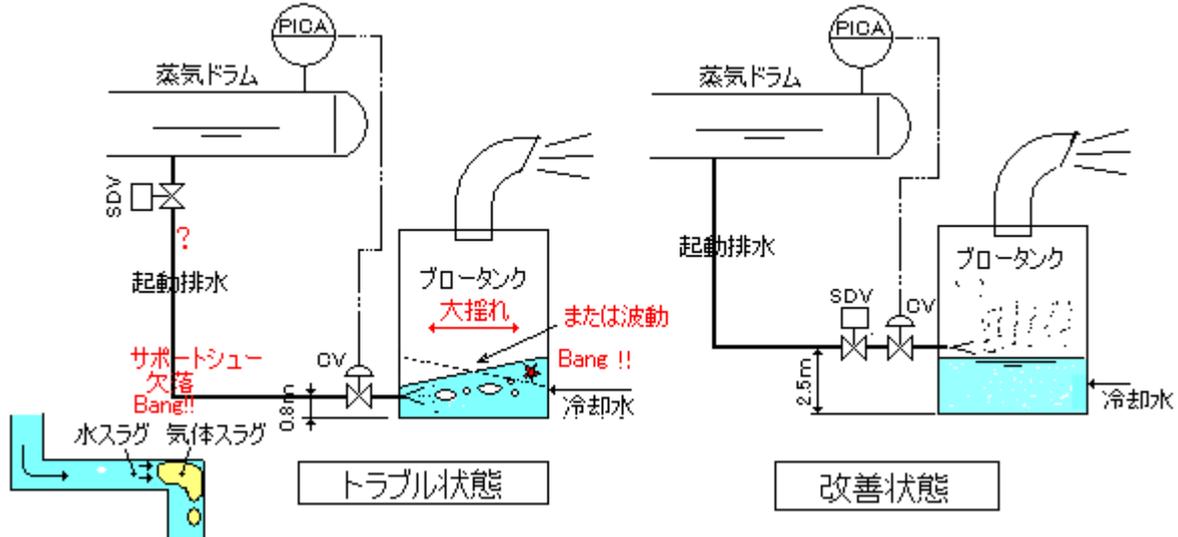


(C) 気体スラグの凝縮による衝撃

## 【ブロータンク周りの水撃と振動トラブル】

### 1. あらまし

運転にはいつの間もない I 発電所 3 号機のブロータンク廻りに激しいハンマリングと振動、即ち「蒸気ドラムからブロータンクへの起動排水ラインのハンマリング」と「ブロータンクの激しい振動」が起きた。以下、そのトラブルの状況、原因および改善策について概要を記す。



### 2. 状況

本設備では DSS 運転になっており、夜間、蒸気ドラムとブロータンク間の起動排水ラインは遮断弁(SDV)と制御弁(CV)で遮断され、ボイラ起動後はスウェリングによる過渡的な液面上昇を防ぐためにドラム内の水を自動排水するようになっている。なお、SDV は水位高低による ON/OFF 制御、CV はドラム圧力による関数制御で操作されている。

問題は、起動排水時 CV 作動を行った直後におけるライン中のハンマリングと、運転中にブロータンク液面が上昇した時に起きる激しいタンクの振動の 2 つである。

まずハンマリングについて。ガスタービン試運転の進捗に伴い激しくなり遂にドカーンという爆音が操作室まで聞こえてくるようになった。更にライン全てのパイプシューが抜け落ちた。

応急対策として、サポートを強化するとともに、「CV を SDV と連動させて開く」、「プラント起動時、SDV のみいったん開にして起動排水ラインを満水にする」操作を行ったが結果は不満足であった。

次にタンク振動について。冷却水が注入されているので、ブロータンクの液面は、起動前にタンクを空にしておいても、自動排水入口ノズル高さ 0.8m を上回って上昇する。このときタンクが走り出す程の大揺れが起きた。

### 3. 原因とメカニズム

まずラインのハンマリングについて。この場合、弁の開操作があるのでその速度によっては、通常の水撃現象が起きる可能性があるが、それによって全パイプシューが欠落してしまうとは考えにくい。

むしろ、停止時ブロータンクは低液位なので、CVに多少の漏れがあれば空気が入り込んで大きな気相スラグができて、これがSDVとCVいずれも開になったときに移動して水スラグの衝突、いわゆるエアハンマリングを引き起こしたのではないかと思われる。なお配管には曲がりがある上、弁の流路形状は複雑になるので、たとえSDVを開けても、エアが蒸気ドラム側に抜けてしまうことはないだろう。

次にタンクの振動については、次の2つのケースが考えられる。

- a. タンク液位が自動排水入口位置を越えた辺りで、流入ブロー水によって周期的な波が起きこれが「タンクの液面固有周期」vs「タンク躯体の固有周期」のいずれかと同調していわゆる共鳴/共振になって激しく揺れたもの、あるいは
- b. CVの出口で、ブロー水(飽和水)が減圧によってフラッシュし、これがタンク内に噴き出た後で周囲の冷却水によって急激に冷やされ、瞬時凝縮して衝撃圧力となったもの、いわゆるチャギング現象の発生。

運転当事者はbを原因に挙げているのでこれが最もよく状況にマッチするのだろう。ただaの可能性も諸般の状況からみて否定できない。

#### 4. 是正措置

次の是正処置によってハンマリング/タンク振動の発現を解消した。

- ① SDVを移動してCVの直前に置いた →ハンマリング対策
- ② ノズルの位置を2.5m位置まで上げ気相にフラッシュさせた →タンク振動対策

①の場合、SDV～CV間の配管は殆どなくなるので、CVから漏れて気相ができてても殆どハンマリングにならない。②の場合、波動もチャギングも全然関係がなくなる。

以上