

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	水滴径に及ぼすアトマイズ空気温度の依存性
著者(和文)	唐澤 英年, 野家 明彦, 桑原 孝明, 堀井 信之, 村田英太郎, 宇多村 元昭
出典(和文)	第8回微粒化シンポジウム, B-10, pp. 133－136
発行日 / Pub. date	1999, 12

水滴径に及ぼすアトマイズ空気温度の依存性

化学会 *唐澤 英年 (日立・電開研)
原子力学会 野家 明彦 (日立・電開研)
 桑原 孝明 (日立・火力/水力事業部)
機械学会 堀井 信之 (日立・火力/水力事業部)
 村田 英太郎 (日立・火力/水力事業部)
機械学会 宇多村 元昭 (日立・火力/水力事業部)

Temperature Dependence of Atomized Air on Water Droplet Size

Hidetoshi KARASAWA, Akihiko NOIE, Takaaki KUWAHARA, Nobuyuki Horii, Hedetaro Murata
and Motoaki UTAMURA

Power & Industrial Systems R & D Laboratory, Hitachi Ltd.
Thermal & Hydroelectric Systems Division, Hitachi Ltd.

Water injection method (Moist Air Turbine Cycle) has been considered to increase power of a gas turbine for peak demand. Water injected by an atomizer into the compressor can evaporate to cool air and increase the power. Water droplets are generated using a spray nozzle. The temperature dependence of atomized air on water droplet size was examined using the air extracted from a compressor. The water droplet size was measured using a laser diffraction size analyzer. The water droplet size decreased with air temperature. The effect of air temperature on water atomization was modeled considering air kinetic energy. The amount of air needed to obtain the same droplet size was estimated to decrease by about 30% with increase of the air temperature of about 300K. This decreases the loss of energy by extraction of air from the compressor.

Keywords : Water Droplet Size, Compressor, Gas Turbine, High Temperature, Atomized Air

1. はじめに

夏場の電力需要のピークに対応するため、ガスタービンの圧縮機内に微細な水滴を注入し、圧縮機の仕事量を低減させるMAT (Moisture Air Turbine) サイクルを提案している⁽¹⁾⁽²⁾。これによる出力増加の主な機構は、夏場に密度が小さくなる空気を水滴蒸発により冷やして吸気流量を増加させることと、圧縮機内での水滴蒸発により内部ガスを冷却することである。後者の圧縮機内での冷却効果は、夏場に限りず通年適用可能であり、ガスタービンの効率を向上できる。

水滴は2流体ノズルを用いて発生させるが、圧縮空気が必要となる。このため、圧縮機から空気を抽気して使用するが、圧縮機内で空気は圧縮され出口では約400℃まで昇温される。今回、水滴径に及ぼす空気温度の依存性を測定し、空気の運動エネルギーを考慮して水滴径の空気温度依存性を定式化した。

2. 水滴径の空気温度依存性の測定

水滴は、空気と水の2流体を加圧してノズルの噴霧孔から噴出させて発生させた。水滴の発生に用いる空気の温度が水滴径に与える影響を評価するため、高温の空気と常温の水を用いて発生させた水滴の粒径を測定した。

連絡先：〒319-1221 日立市大甕町 7-2-1 (株)日立製作所電開研 Tel.0294-52-8445

図1に本試験装置の概要図を示す。本装置は、試験用ガスタービン、給水系、噴霧用スプレーノズル、粒径測定器から構成される。水滴径の測定には、回折型粒径分布測定器を用いた。

高温の空気は試験運転中のガスタービンから抽気し、その一部を分岐して流量調整後ノズルに供給した。水は水道水を用い、流量計で流量調整した後ノズルに供給した。試験条件を表1に示す。

高温空気 148℃ および 248℃ 付近での水滴径の測定結果を、図2に示す。空気温度は、 $(148 \pm 8)^\circ\text{C}$ と、 $(246 \pm 37)^\circ\text{C}$ であった。また、比較のため室温での測定値も図中に示す。空気温度約 250℃ では、室温空気より約 20% 水滴径が減少した。このように、空気温度が高くなるにつれて、同一の水滴径とするために必要な標準状態における空気/水体积比は小さくなる傾向を示した。これは、空気温度を高く

するほど圧縮機からの抽気量を低減できることを示している。

3. 高温空気による水滴微細化機構

水滴発生に用いる空気の単位体積当たりの運動エネルギー K (J/m^3) は次式で表せる。

$$K = \rho u^2 / 2 \quad (1)$$

ここで、 ρ : 空気密度 (kg/m^3)、 u : 空気流速 (m/s)。いま、空気の質量流束 G_a ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$) を

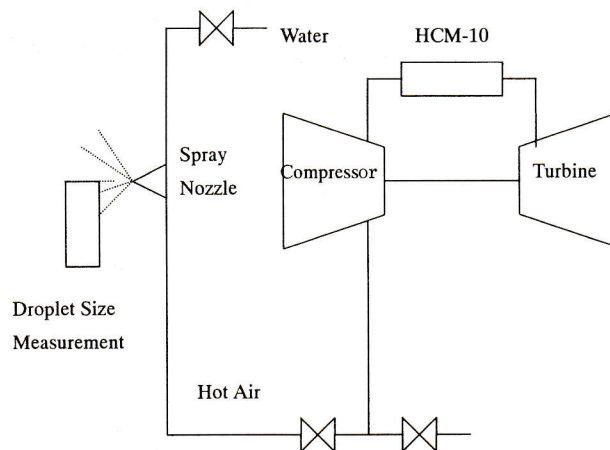


Fig.1 Experimental Apparatus

Table 1 Experimental Condition

Item	Range
Air temperature	20~250℃
Air pressure	0.49 MPa
Water temperature	20℃
Water pressure	0.49 MPa
Atmosphere temperature	20℃
Atmosphere pressure	0.1 MPa

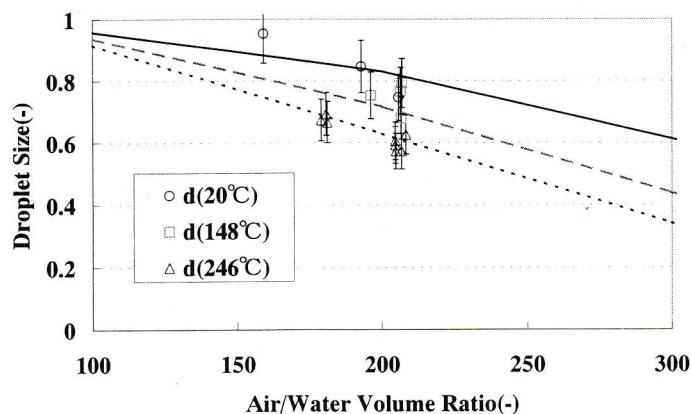


Fig. 2 Air Temperature Dependence of Water Droplet

考えると、 $G_a = \rho u$ より、空気のエネルギー流束 E_a (J/m²/s) は次式で表せる。

$$\begin{aligned} E_a &= u^2 G_a / 2 \\ &= G_a^3 / \rho^2 / 2 \end{aligned} \quad (2)$$

一方、発生した水滴の全表面積を S (m²) とすると、単位時間あたりの全表面エネルギー E_s (J/s) は次式で表せる。

$$E_s = \sigma (S/N_0) N \quad (3)$$

ここで、 σ : 表面張力 (J/m²)、 N_0 : 全水滴個数 (個)、 N : 水滴発生速度 (個/s)。いま、水のマスバランスは次式で表せる。

$$G_w S_0 = \pi \rho_w d_m^3 N / 6 \quad (4)$$

ここで、 G_w : 水の質量流束 (kg/m²/s)、 S_0 : ノズル出口面積 (m²)、 ρ_w : 水密度 (kg/m³)、 d_m : 平均体積径 (m)。(4)式より N を求め(3)式に代入すると、次式が得られる。

$$E_s = 6 \sigma (S/N_0) G_w S_0 / (\pi \rho_w d_m^3) \quad (5)$$

ここで、ザウター平均径を d_s (m) とすると、

$$\begin{aligned} (S/N_0) / (\pi d_m^3) &= (\pi \sum n_i d_i^2) / (N_0) / (\pi \sum n_i d_i^3) / (N_0) \\ &= \sum n_i d_i^2 / \sum n_i d_i^3 \\ &= 1/d_s \end{aligned} \quad (6)$$

となり、(5)式は以下となる。

$$E_s = 6 \sigma G_w S_0 / (\rho_w d_s) \quad (7)$$

水滴発生に用いた空気の運動エネルギーが、水滴の微粒化に使われたと仮定する。微粒化エネルギーに寄与する空気の運動エネルギーの割合を η (-) とすると、次式が成立する。

$$E_s = \eta E_a S_0 + E_{s0} \quad (8)$$

ここで、 E_{s0} はノズル形状で決まる微粒化エネルギーである。(2)式と(7)式を(8)式に代入して、次式が得られる。

$$\begin{aligned} 6 \sigma G_w / (\rho_w d_s) &= \eta G_a^3 / \rho^2 / 2 + E_{s0} / S_0 \\ \therefore d_s &= 12 \sigma G_w \rho^2 / (\eta \rho_w G_a^3 + 2 \rho_w \rho^2 E_{s0} / S_0) \end{aligned} \quad (9)$$

いま、標準状態 (0℃、1atm) における空気/水体积比 R (-) を用いると、上式は以下のようなになる。

$$\begin{aligned} d_s &= 12 \sigma \rho^2 / (\eta \rho_w G_a^2 R / 775 + 2 \rho_w \rho^2 E_{s0} / S_0) \\ &= (9.3E03) \sigma \rho^2 / (\eta \rho_w G_a^2 R + 1550 \rho_w \rho^2 E_{s0} / S_0) \end{aligned} \quad (10)$$

ここで、 $R = (\rho_w / \rho)_0 G_a / G_w = 775 G_a / G_w$ とした。

水温を一定とし、空気圧力一定の場合、空気密度は空気温度 T_a (K) に反比例するので、水滴径の空気温度依存性は次式で表せる。

$$\begin{aligned} d_s &\propto \rho^2 / (G_a^2 R + 1550 \rho^2 E_{s0} / S_0) \\ &\propto 1 / (\eta G_a^2 R T_a^2 + 1550 E_{s0} / S_0) \end{aligned} \quad (11)$$

上式から、水滴のザウター径の逆数は空気/水体积比と空気温度の二乗の積に反比例する。すなわち、アトマイズ空気温度が高くなるほど水滴のザウター径は小さくなる。

4. 水滴径の空気温度依存性

測定した水滴のザウター径の逆数を $G_a^2 R T_a^2$ でプロットした結果を、図3に示す。測定結果は、次式で表せる。

$$1/d_s = 1.55E-8 * (G_a^2 R T_a^2) + 6.81E-2 \quad (12)$$

ここで、切片はノズル形状で決まる最大粒径で、アトマイズ空気無しの場合に相当する。(10)式と(12)式の比較から、水滴の微粒化エネルギーに寄与する空気の運動エネルギーの割合 η は約 0.05 と求まる。これから、空気の運動エネルギーが微粒化に寄与していることが分かる。また、(12)式に基づき、水滴径の空気／水体积比依存性の計算値を、図2に線で示す。計算値と測定値の傾向は一致した。

いま、水量を一定にした場合、同一の水滴径を得るのに必要な空気量は、(10)式から空気温度が高いほど少なくなる。図4に示すように、空気／水体积比は空気温度の上昇とともに減少し、300℃の空気を用いると室温の約 70 %の空気量で同一の水滴径が得られる。この空気量の減少により、MATサイクルの効率を向上できる。

5. まとめ

ガスタービンの増出力を図るMATサイクルにおいて、2流体ノズルを用いて水滴を発生させるが、水滴径に及ぼすアトマイズ空気の温度依存性を評価した。

- (1) 試験用ガスタービンの抽気空気を用いて、水滴径のアトマイズ空気温度依存性を測定した。空気温度 250℃では、室温空気より約 20 %水滴径が減少した。
- (2) 水滴の微粒化における空気温度の効果を空気の運動エネルギーを用いてモデル化し、測定結果との比較からその寄与割合を求めた。同一の水滴径を得るのに必要な空気量は、空気温度が 300℃上昇すると約 30 %減少することを確認した。

7. 参考文献

- (1) 宇多村元昭、配管技術、'98増刊号、150(1998)。
- (2) 唐澤・折井・野家・宇多村、第7回微粒化シンポジウム講演論文集、321(1998)。

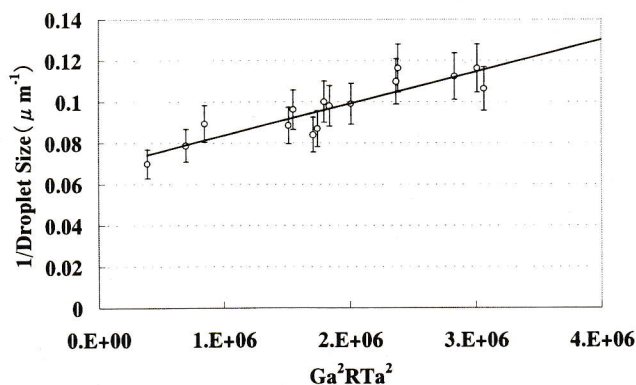


Fig. 3 Comparison between measurement and model prediction

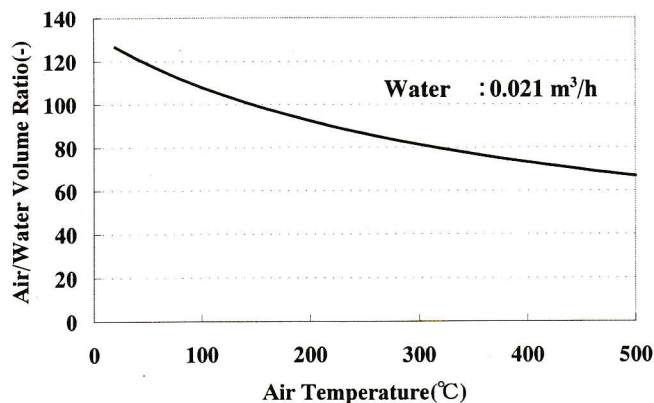


Fig. 4 Air temperature dependence of air/water volume ratio