

HD調湿ガス発生装置におけるMixing ratioパラメータと調湿ガスの組成

HD調湿ガス発生装置では軽水・重水混合調湿ガスの発生において、導入する乾燥空気流量をパラメータとし、軽水ラインの使用割合を”Mixing ratio”と定義している。軽水と重水では飽和蒸気圧が異なるため、同じ露点でも調湿ガス中の水分量が異なる。従って、”Mixing ratio”と調湿ガス中の軽水(重水)の割合には数パーセントの差が生じる。計算方法およびHD調湿ガス発生の評価結果について述べる。

混合調湿ガスの組成は以下の文献に計算式がある。

Kim, M.-H., Glinka, C. J. & Carter, R. N. In situ vapor sorption apparatus for small-angle neutron scattering and its application. Rev. Sci. Instruments 76, 113904, DOI: <https://doi.org/10.1063/1.2134151> (2005)

露点T1の調湿ガス中のD2Oのモル分率 x_{D2O} は、H2OガスおよびD2O調湿ガスそれぞれの総流量 F_{total} および飽和蒸気圧 P_{ws} から以下のように求まる。

$$x_{D2O} = \frac{F_{total, D2O} \cdot P_{ws, D2O}(T_1)}{F_{total, H2O} \cdot P_{ws, H2O}(T_1) + F_{total, D2O} \cdot P_{ws, D2O}(T_1)}, \quad (2)$$

ここで調湿ガスの総流量 F_{total} は各水槽に導入する乾燥空気の流量 F_1 と F_4 (flow_rate × mixing_ratio)に対して以下の式で求まる。

$$F_{total, D2O} = \frac{F_4}{1 - P_{ws, D2O}(T_1)/P_{atm}} \quad (3)$$

and

$$F_{total, H2O} = \frac{F_1}{1 - P_{ws, H2O}(T_1)/P_{atm}}. \quad (4)$$

これらの式から露点74.7°Cの場合 (D2O雰囲気80°C-80%RHの状態)、HD調湿装置のパラメータ”Mixing ratio”と調湿ガス中の水に占める軽水のモル分率 x_{H2O} は次のようになる。

計算に使う数字

T1		74.7	oC
Ftotal	D2O	0.25	L/min
Pws	D2O	44.24	kPa
Ftotal	H2O	1.05	L/min
Pws	H2O	47.42	kPa
Patm		101.33	kPa
F4		0.14	L/min
F1		0.56	L/min
flowrate		0.70	L/min
mixing ratio		0.80	

計算結果

"Mixing ratio"	xH2O
0.0	0.00
0.2	0.22
0.4	0.43
0.6	0.63
0.8	0.82
1.0	1.00

図1 D2O雰囲気中で80°C-80%RHの調湿ガス組成の計算結果

なお、飽和蒸気圧曲線は以下の文献を用いた。

19. Wagner, W. & Pruß, A. The iapws formulation 1995 for the thermodynamic properties of ordinary water substance for general and scientific use. *J. Phys. Chem. Ref. Data* **31**, 387–535, DOI: <https://doi.org/10.1063/1.1461829> (2002).
20. Herrig, S., Thol, M., Harvey, A. H. & Lemmon, E. W. A reference equation of state for heavy water. *J. Phys. Chem. Ref. Data* **47**, 043102, DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5053993> (2018).

FT-IRで評価した混合調湿ガス(の結露水)の組成は以下のとおり。組成は上述の計算結果とおおよそ一致しており、本装置は設計どおりに動作しているといえる。

表1 80°C露点調湿ガス(の結露水)の組成

Flow rate [L/min.]			Composition		
H ₂ O line	D ₂ O line	x	H ₂ O	D ₂ O	Total
0.0	1.1	0.000	0.007(4)	0.993(3)	1.000
0.1	1.0	0.091	0.120(4)	0.878(3)	0.998
0.2	0.9	0.182	0.219(4)	0.786(2)	1.005
0.3	0.8	0.273	0.315(4)	0.684(2)	0.999
0.4	0.7	0.364	0.413(4)	0.588(2)	1.001
0.5	0.6	0.455	0.503(4)	0.507(2)	1.010
0.6	0.5	0.545	0.586(4)	0.422(2)	1.008
0.7	0.4	0.636	0.665(4)	0.330(2)	0.995
0.8	0.3	0.727	0.753(4)	0.243(2)	0.996
0.9	0.2	0.818	0.839(4)	0.164(2)	1.002
1.0	0.0	1.000	0.993(4)	0.001(2)	0.994

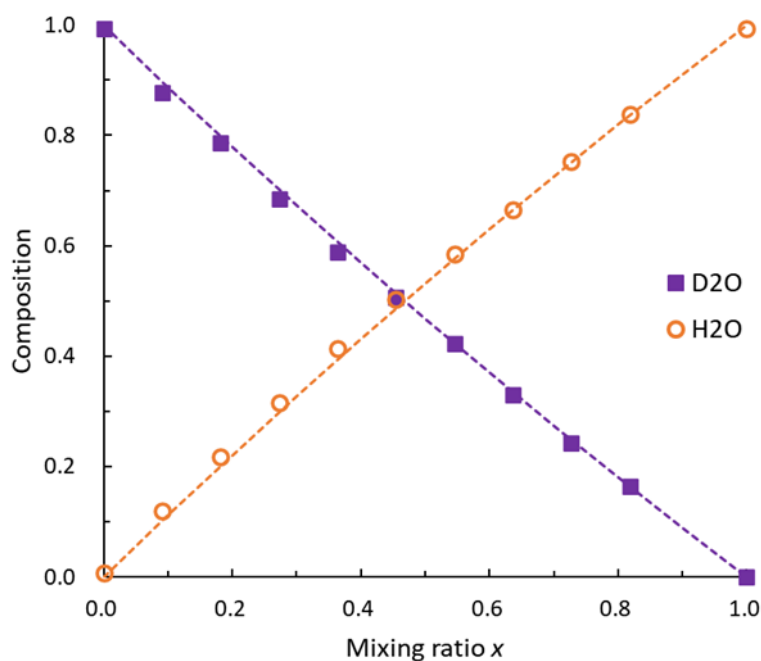
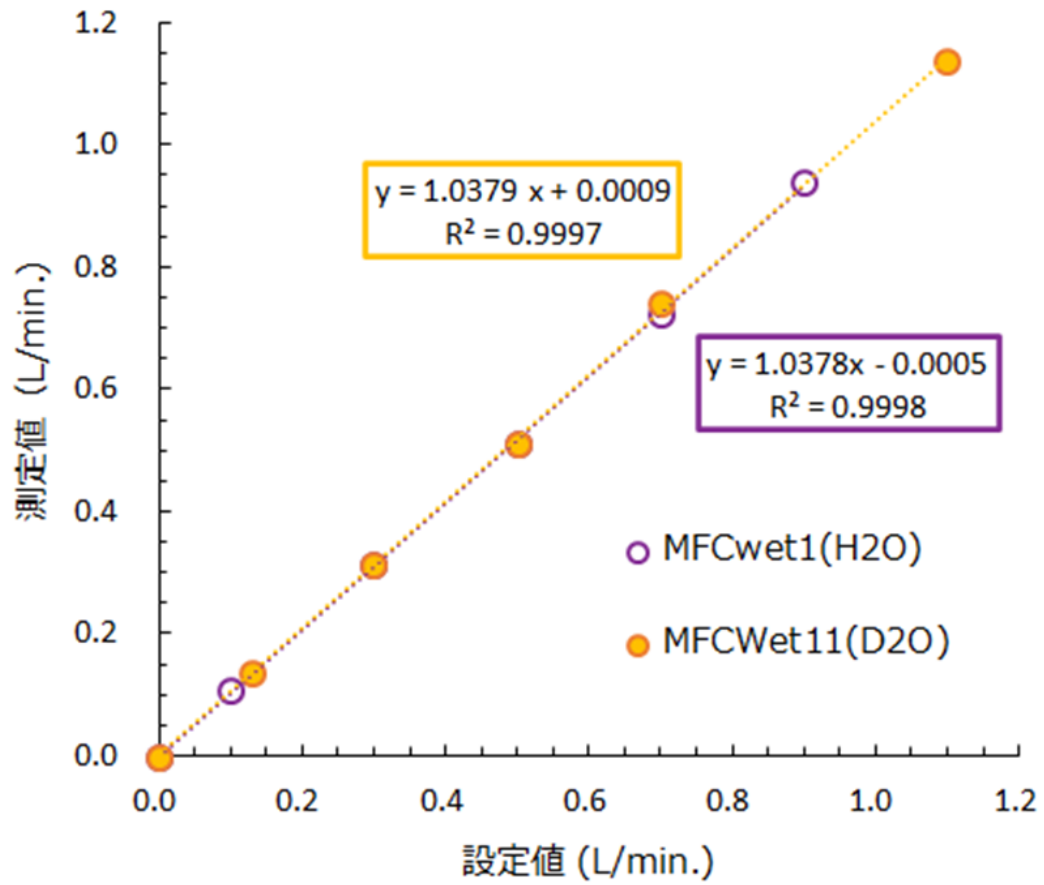


図2 組成とMixing ratioパラメータの関係。点線は計算値を示す。

ガス流量の評価



2021/9/24 マイクロイクイップメント酒寄氏とSE調整室にて計測