

微量ガス検出システムの開発

ーキャビティーリングダウン分光法・ 光音響分光法ー



広島市立大学
情報科学部情報機械システム工学科
情報材料1講座

中野幸夫・石渡 孝

吸収法とは

吸収法:

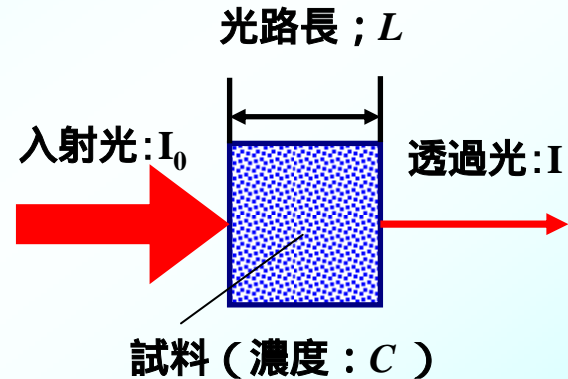
被検出分子による光の吸収による光の強度の減少の測定

ランベルト・ベールの法則:

光の減少量は吸収物質の濃度と光路長に以下の関係がある。

$$\log(I_0/I) = \varepsilon CL$$

ε :モル吸光係数



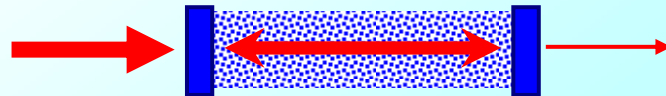
光路長を伸ばすことができれば感度上昇

従来の吸収法



光路長: 0.01 - 10 m

キャビティーリングダウン分光法

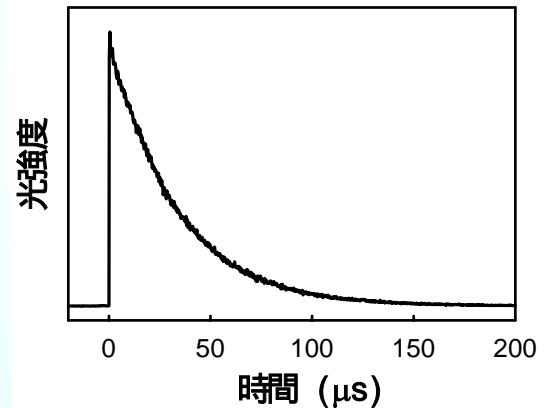
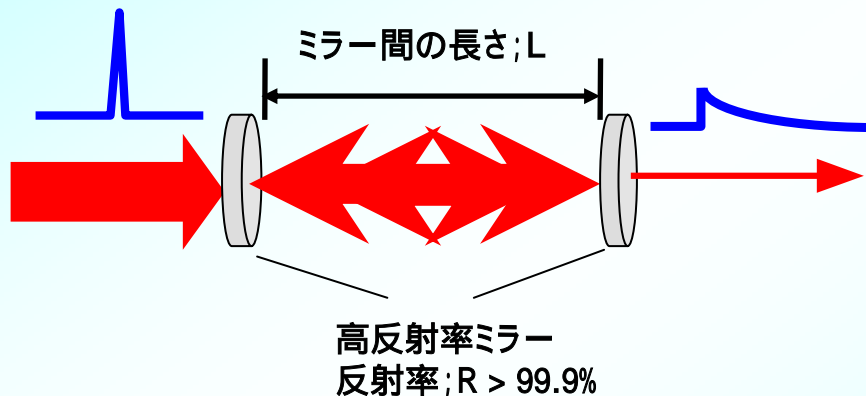


光路長: 1,000 - 10,000 m

キャビティーリングダウン分光法の原理

キャビティーリングダウン分光法:

高反射率ミラーで構成された光学キャビティー間を検出光が往復することにより、数～数十kmの有効光路長を得ることができる。それ故、従来の吸収法の数千倍感度が高い。



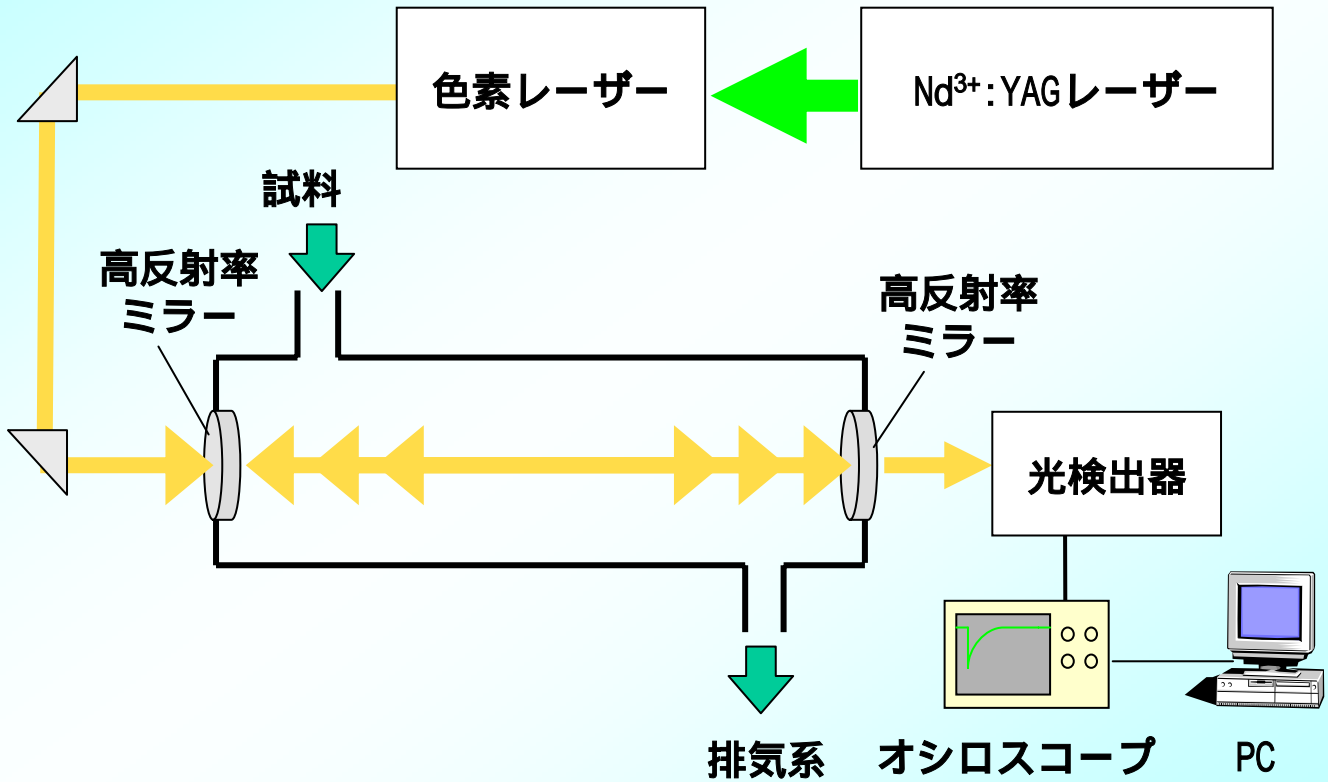
$$I(t) = I_0 \exp(-t/\tau) = I_0 \exp(-t/\tau_0 - \sigma nct)$$

τ_0 : 真空でのリングダウンレイト
 σ : 吸収断面積

n : 被検出物質の濃度
 c : 光速

図 実測されたリングダウンシグナル。このキャビティー内の光パルス滞在時間は $33\mu\text{s}$ であり、実効光路長として 10 km になっていることがわかる。

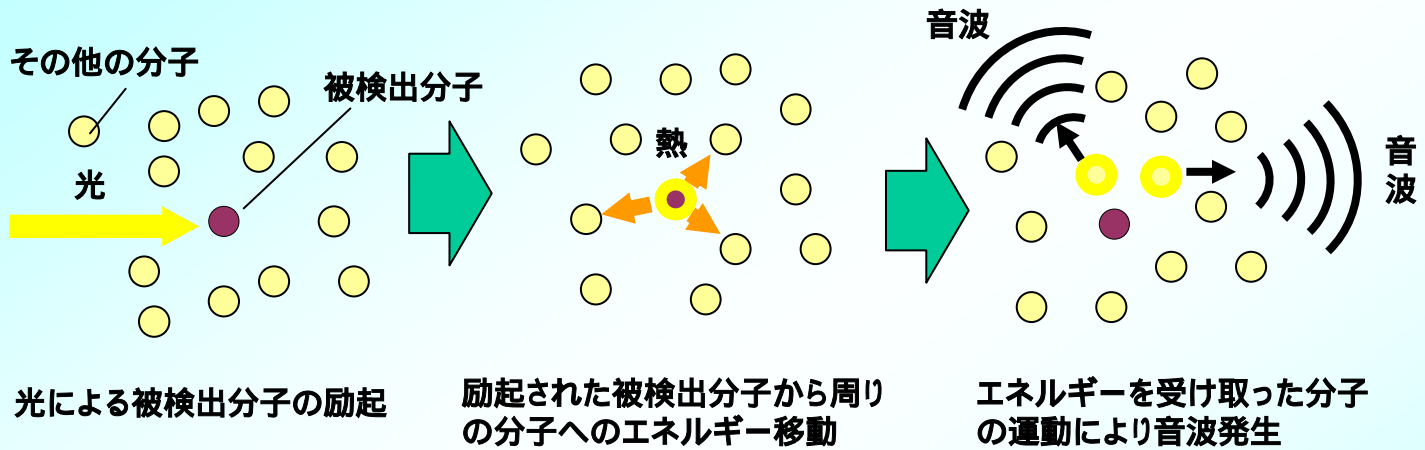
キャビティーリングダウン分光法の装置図



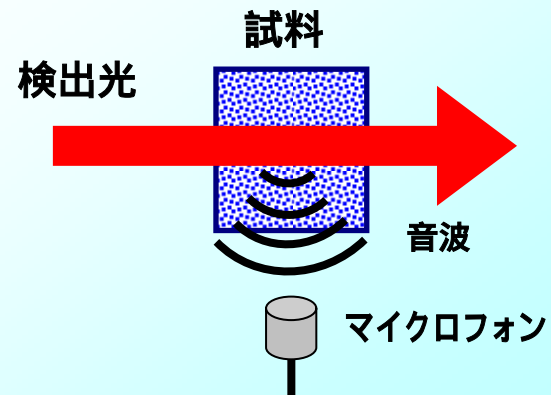
キャビティリングダウン分光法の利点

利点	具体例
高感度	吸光度が 10^{-8} / pathまで測定可能
高定量性	検出用レーザーの光強度の変動に影響されない
高選択性	目的の被検出物質のみの測定が可能である
広い圧力範囲	分子線から常圧まで使用可能
高い波長分解能	検出用レーザーの線幅により決定

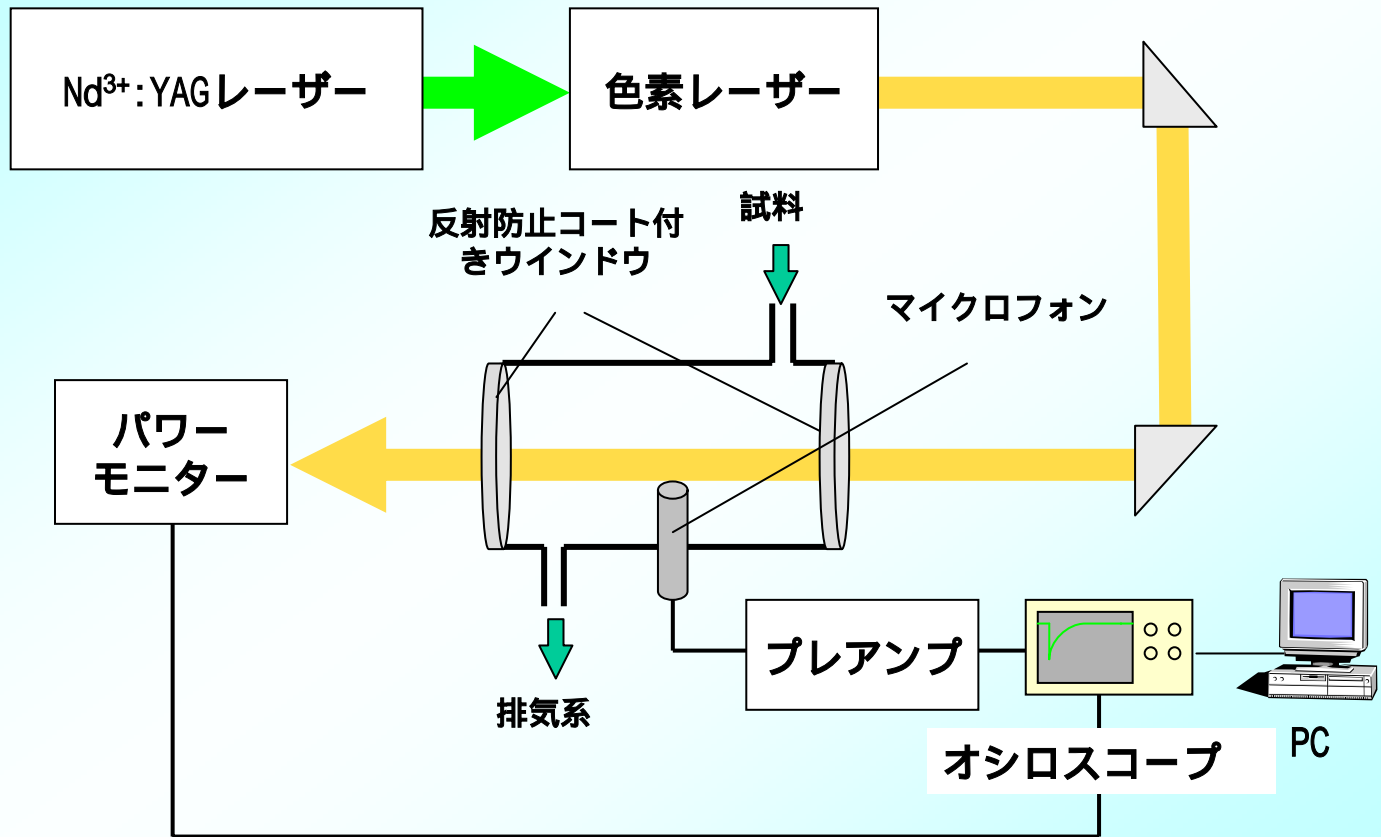
光音響分光法の原理



検出したい化学種の入った試料室に光照射を行う、そこで発生する音波をマイクロフォンで検出することにより、被検出分子の濃度を測ることができる。



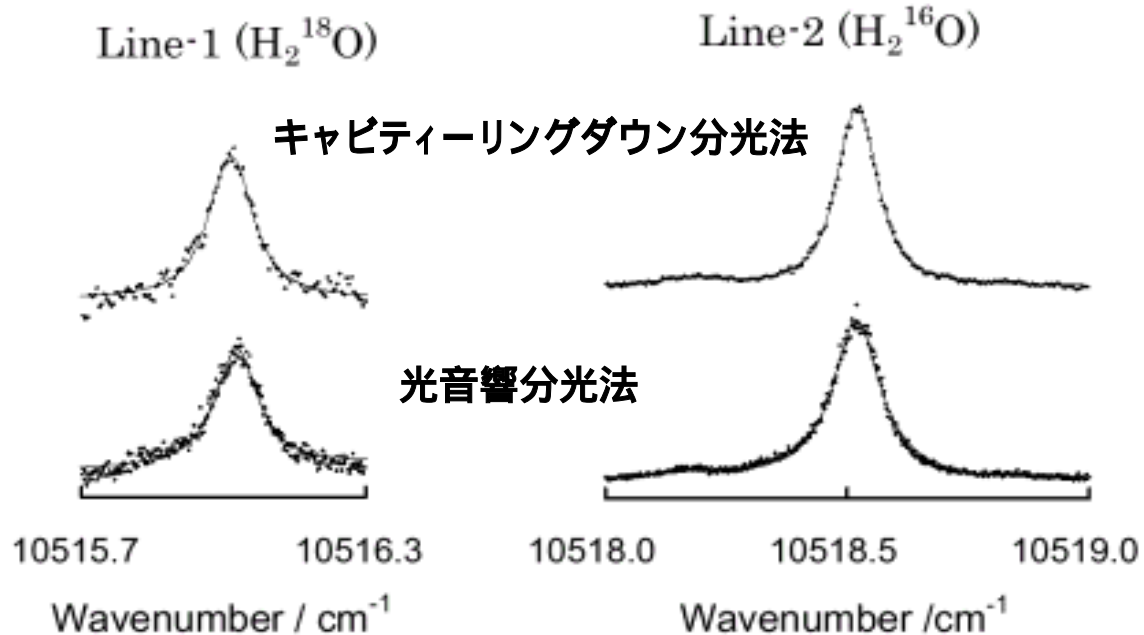
光音響分光法の装置図



水の同位体測定

水の同位対比：

$\text{H}_2^{18}\text{O} = 0.2\%$, $\text{H}_2^{16}\text{O} = 99.8\%$



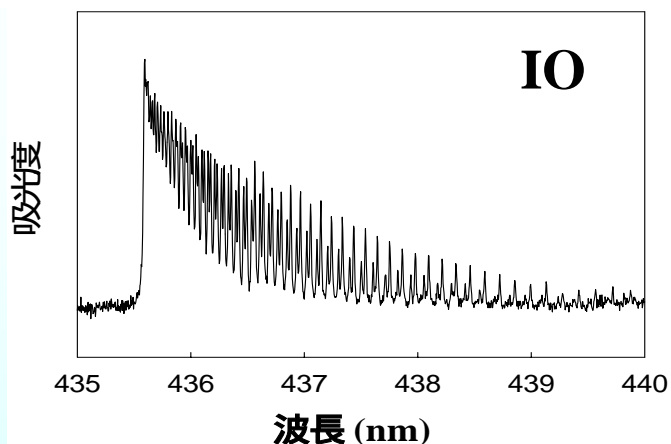
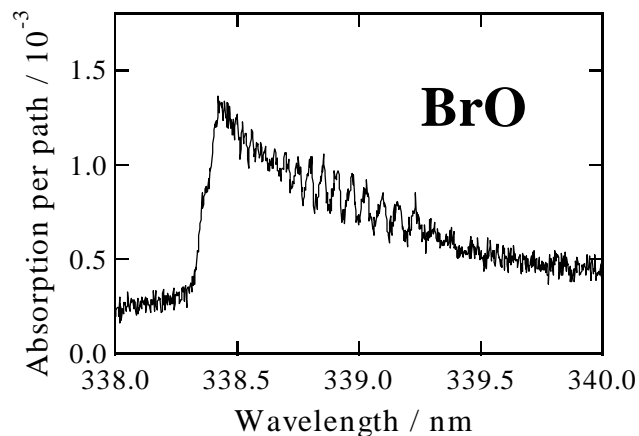
キャビティーリングダウン分光法、光音響分光法ともに実際の水の中に存在する微量な同位体 (H_2^{18}O) の検出も可能である。

キャビティーリングダウン分光法による 大気微量ラジカルの測定

微量ガス	大気中における 一般的な濃度
BrO	0.5-2 pptV
IO	3-6 pptV

1 pptV = 0.0000000001%

キャビティーリングダウン分光法を用いることにより、大気中に微量しか存在しないラジカルの検出も可能である



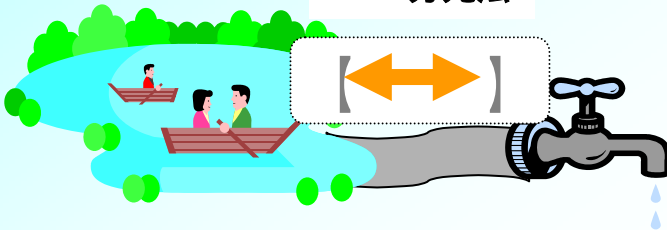
本研究で測定可能な大気微量物質の一例

被検出分子	対流圏における濃度 (ppb)	検出波長	検出用レーザー
NO ₂	0.02 – 1000	355, 488, 515 nm	YAGレーザー、Arイオンレーザー
NO ₃	0.4	600 – 670, 633 nm	半導体レーザー、He-Neレーザー
HNO ₂	10	355 nm	YAGレーザー
CH ₂ O	0.5 – 75	250 – 350 nm 3596 nm	色素レーザー (2倍波) 半導体レーザー
SO ₂	1 – 100	280 – 320 nm 7353 nm	色素レーザー (2倍波) 半導体レーザー
O ₃	80	200 – 300 nm 9524 nm	色素レーザー (2倍波) 半導体レーザー
OH	5 x 10 ⁻⁵	308 nm	エキシマーレーザー
ClO	0.4	266 nm	YAGレーザー
BrO	0.3	355 nm	YAGレーザー
N ₂ O	310	7996 nm	半導体レーザー
H ₂ O ₂	< 1	7778 nm	半導体レーザー
微粒子	10 - 10 ⁶ cm ⁻³	266, 355, 532, 1064 nm	YAGレーザー

ショートタームで企業に共同研究できるテーマ

水質管理

CRD分光法



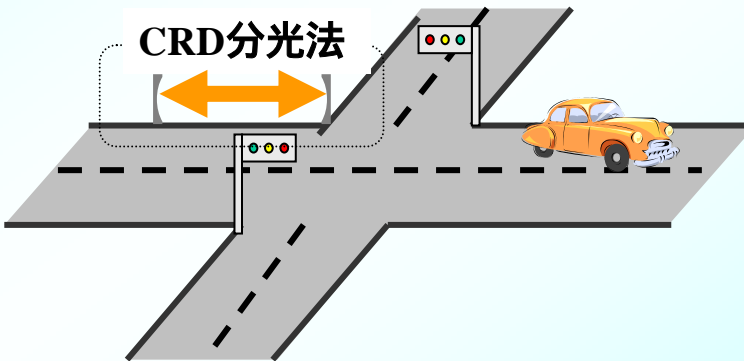
生活空間の空気成分の監視

CRD分光法



NO_x検出

CRD分光法



環境ホルモンの検出

CRD分光法

