

# 環境表面科学講義



<http://www.iamp.tohoku.ac.jp/~liquid/MURA/kogi/kaimen/>

E-mail: [mura@tagen.tohoku.ac.jp](mailto:mura@tagen.tohoku.ac.jp)

村松淳司

# DLVO理論

## 分散と凝集をどう扱うか



それぞれを別の2つの力とする

# 分散と凝集

## 考え方

$$V_{\text{total}} = V_{\text{H}} + V_{\text{el}}$$

$V_{\text{H}}$  : van der Waals力による相互作用エネルギー

$V_{\text{el}}$  : 静電的反発力による相互作用エネルギー

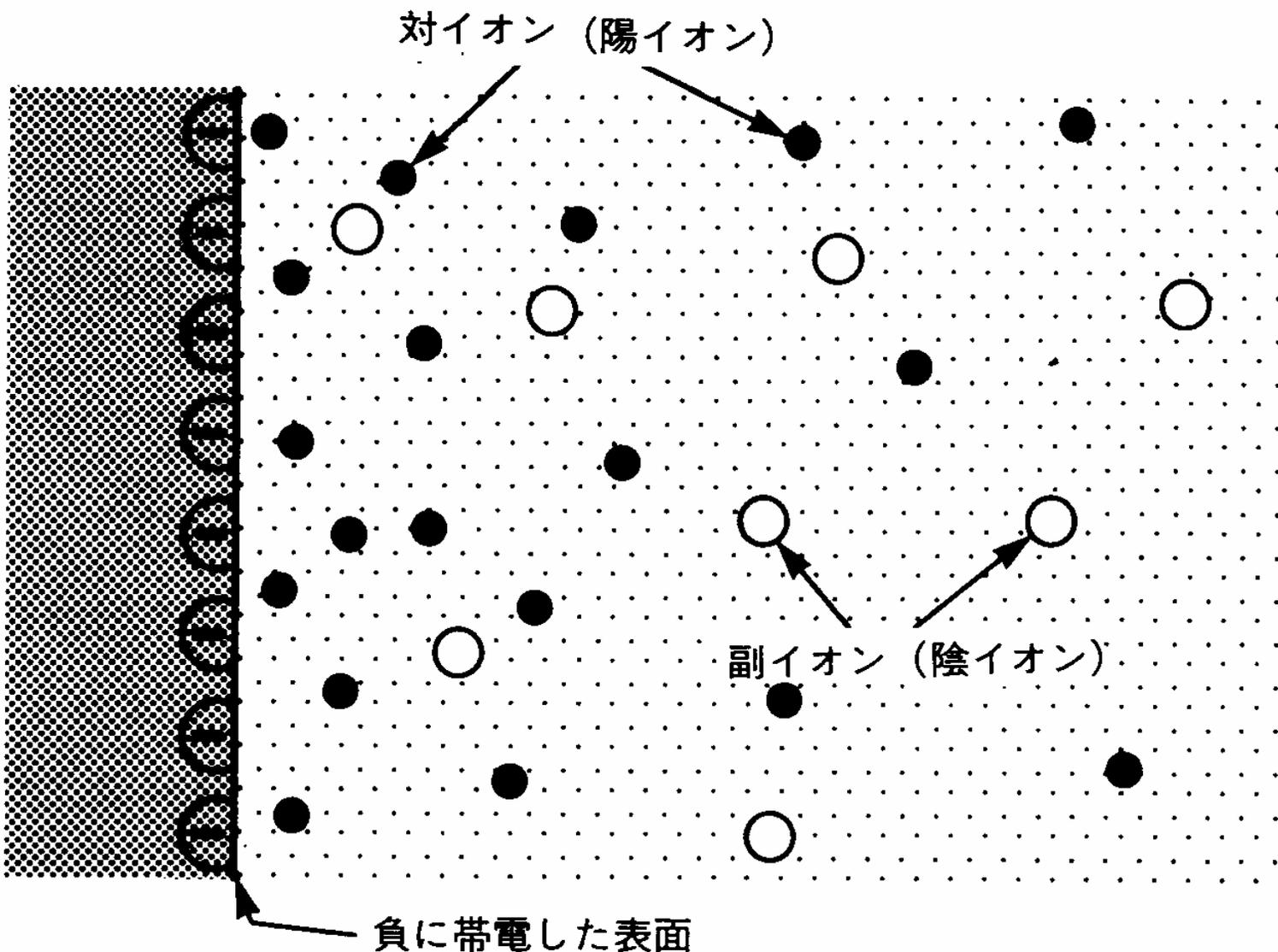
$V_{\text{total}}$  が正 粒子は分散

$V_{\text{total}}$  が負 粒子は凝集

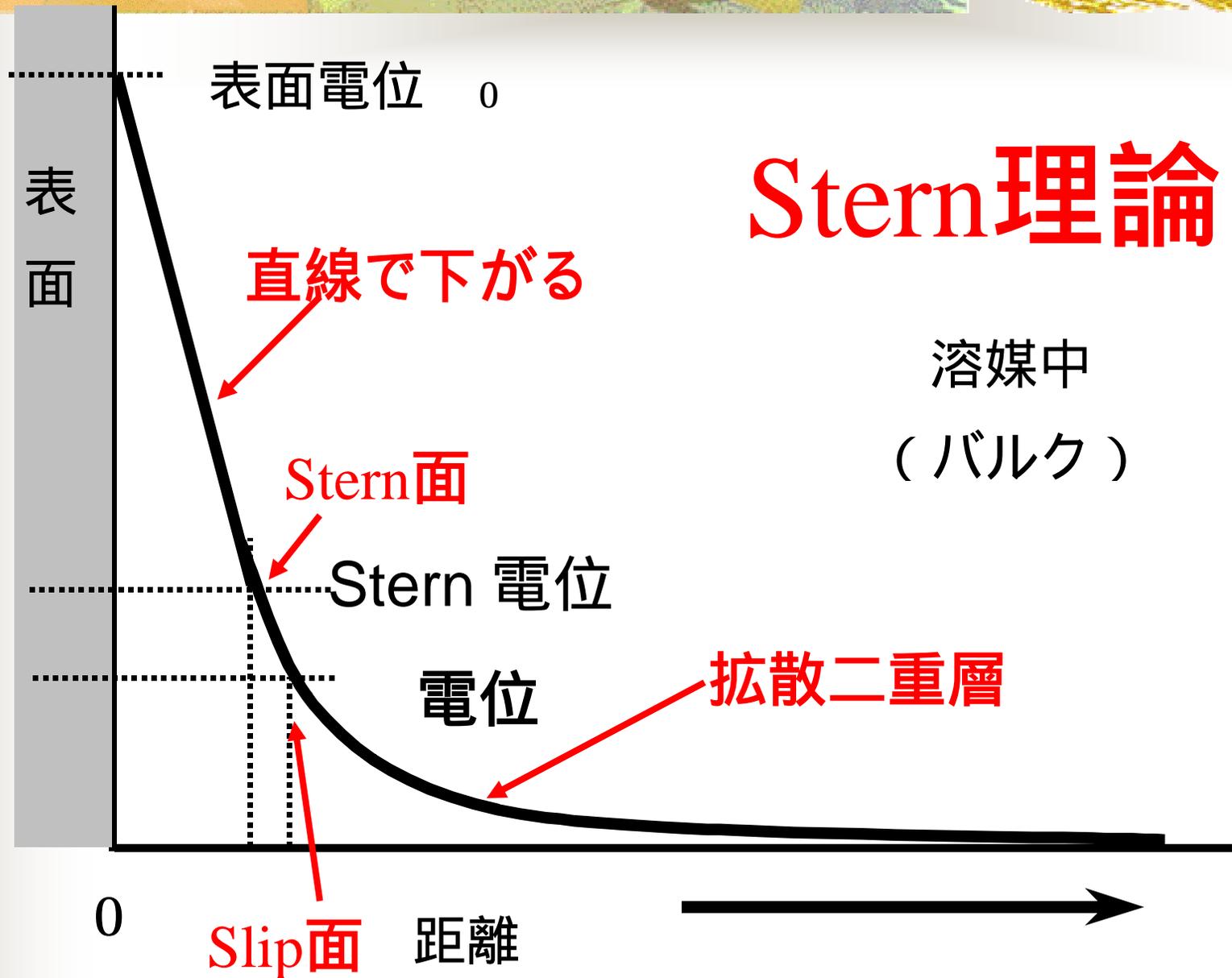


# 静電的反発力

- 粒子表面は電荷を帯びている
  - 証拠：電気泳動など
- これが静電的反発力の源ではないか
- ここからスタートする

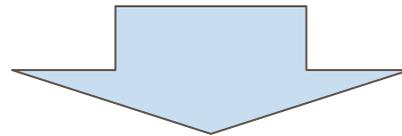


# Stern理論

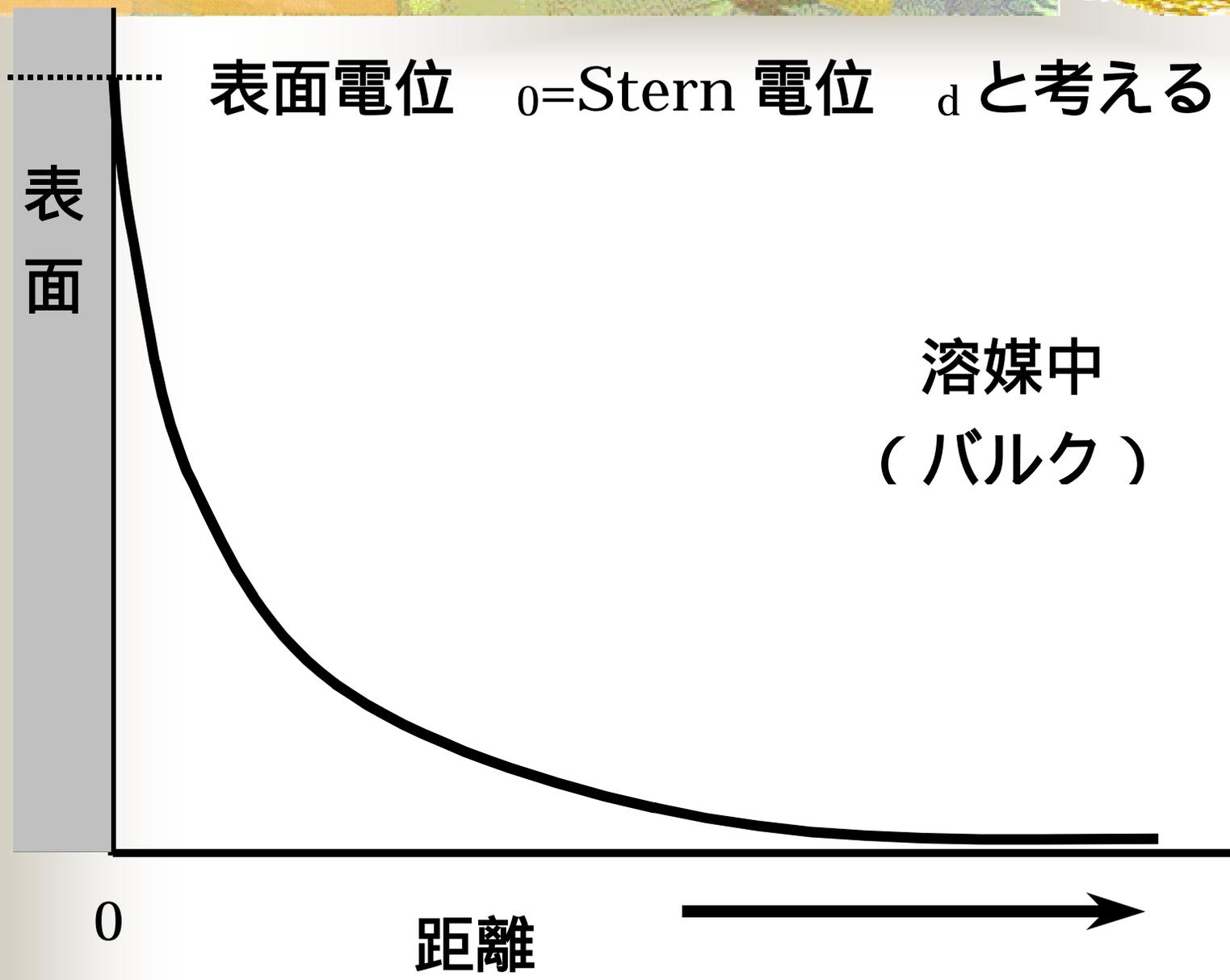


# 現実的にはどう考えるか

- 実測できるのは 電位
- 電位 = Stern電位と置ける
- それなら、電位 = Stern電位を表面電位と見なして考えよう



- Stern理論ではなく、Gouy-Chapmanの拡散二重層理論を実社会では適用



# 1 . 拡散層中のイオンの濃度はボルツマン分布に従う

$$n_+ = n_{0+} \exp\left(\frac{-z_+ e \psi}{kT}\right) \quad (1)$$

$$n_- = n_{0-} \exp\left(\frac{z_- e \psi}{kT}\right)$$

$n$ : 拡散層中のイオンの個数濃度

$n_0$ : バルク溶液中のイオンの個数濃度

$z$ : イオンの価数

$k$ : ボルツマン定数

$T$ : 温度

$\psi$ : 問題にしている点における電位

$+, -$ : 陽イオン、陰イオンを表す

拡散層内における電位は、Poisson の式

$$\Delta \psi = \text{div} (\text{grad } \psi) = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_r \epsilon_0} \quad (3)$$

を基礎にして求められる。

$\epsilon_r$ : 溶液の比誘電率

$\epsilon_0$ : 真空の誘電率

$\rho$ : 電荷密度

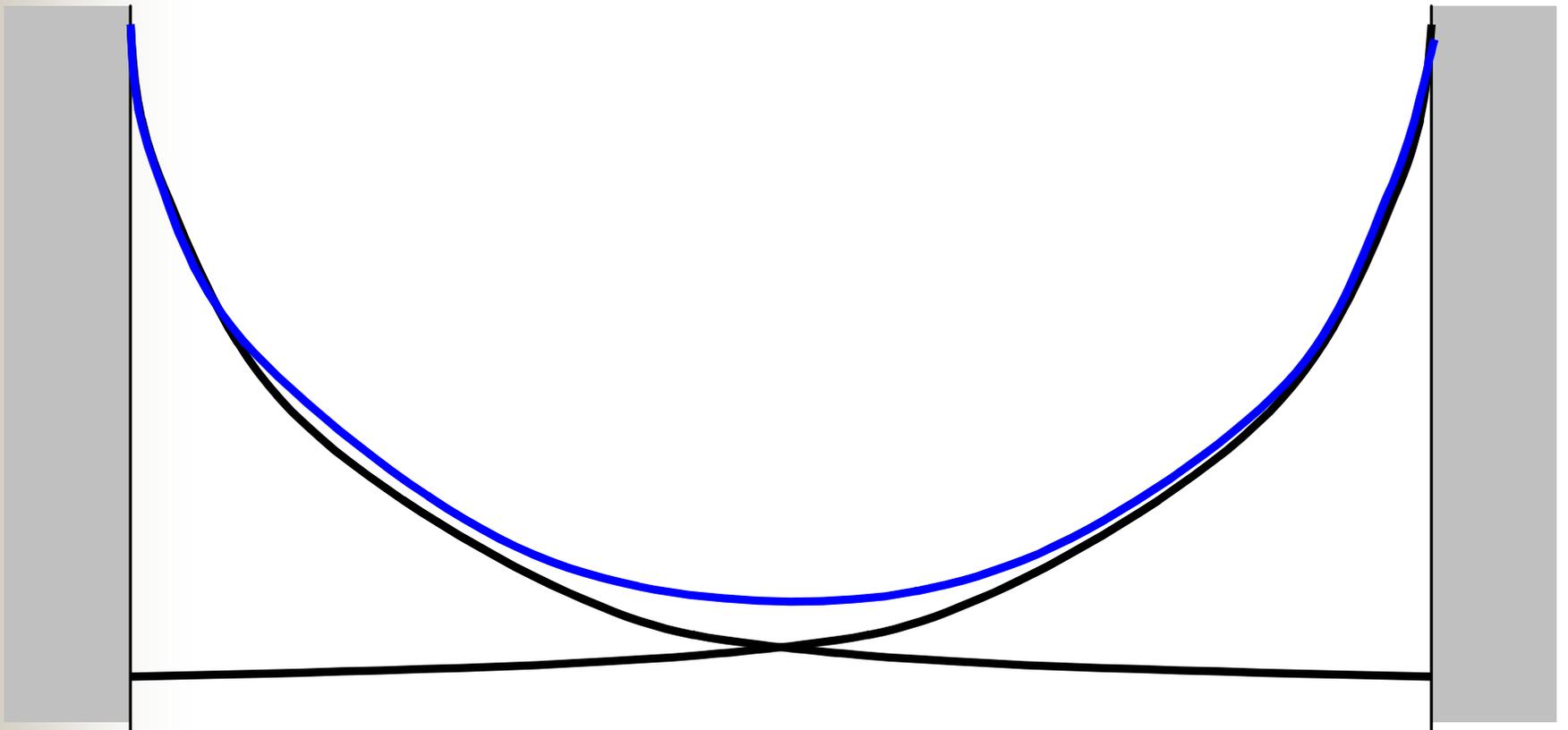
従って、  
平板電気二重層に対する、Poisson-Boltzmann 式は、  
(3),(4)式から  $x$  方向だけを考えると

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = \frac{2nze}{\epsilon_r\epsilon_0} \sinh \frac{ze\psi}{kT} \quad (5)$$

(5)式を積分して、

$$\tanh \frac{ze\psi}{4kT} = \tanh \left( \frac{ze\psi_0}{4kT} \right) \exp(-\kappa x) \quad (6)$$

# 次に平板電気二重層間の相互作用を考える



平板間の相互作用をまず考えよう

従って、平板間の電気二重層の相互作用エネルギーは

$$V_R(h) = -\int_{\infty}^h P_R(h) dh = \frac{64nkT}{\kappa} \gamma^2 \exp(-\kappa h)$$

(21)

従って、半径  $a$  の球形粒子の相互作用エネルギーは

$$\begin{aligned} V_R(H) &= -\int_{\infty}^H P_R(H) dH \\ &= \frac{64\pi a n k T}{\kappa^2} \gamma^2 \exp(-\kappa h) \end{aligned} \quad (24)$$

# van der Waals相互作用

van der Waals 力の近似式

$$P_A(H) = -\frac{aA}{12H^2} \quad (29)$$

$$V_A(H) = -\frac{aA}{12H} \quad (30)$$

A は Hamaker 定数

# 全相互作用エネルギーは

$$P_T(H) = \frac{2\pi a \sigma^2}{\kappa \varepsilon_r \varepsilon_0} \exp(-\kappa H) - \frac{aA}{12H^2} \quad (31)$$

$$V_T(H) = \frac{2\pi a \sigma^2}{\kappa^2 \varepsilon_r \varepsilon_0} \exp(-\kappa H) - \frac{aA}{12H} \quad (32)$$

が得られる。

あるいは、

$$V_T(H) = 2\pi a \varepsilon_r \varepsilon_0 \psi_0^2 \exp(-\kappa h) - \frac{aA}{12H} \quad (33)$$

# DLVO理論

## 式の意味を考える



溶液条件によってどう変わるのか

$$V_T(H) = 2\pi a \varepsilon_r \varepsilon_0 \psi_0^2 \exp(-\kappa H) - \frac{aA}{12H}$$

$\varepsilon_r, \varepsilon_0, \psi_0, A$ は定数

$a$ は粒子サイズ

とすると、変化するのは $\kappa$ だけ

$$\kappa^2 = \frac{2nz^2e^2}{\epsilon_r\epsilon_0kT}$$

$e$ は電気素量、 $\epsilon_r\epsilon_0$ は誘電率、

$k$ はボルツマン定数

$n$  イオン個数濃度

$z$  イオンの価数

$T$  絶対温度

$n$  イオン濃度 → 増加

$z$  イオンの価数 → 増加

$T$  絶対温度 → 減少



$K$  増加

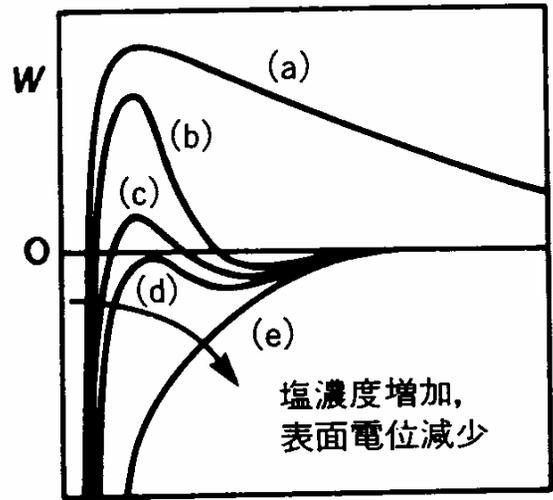
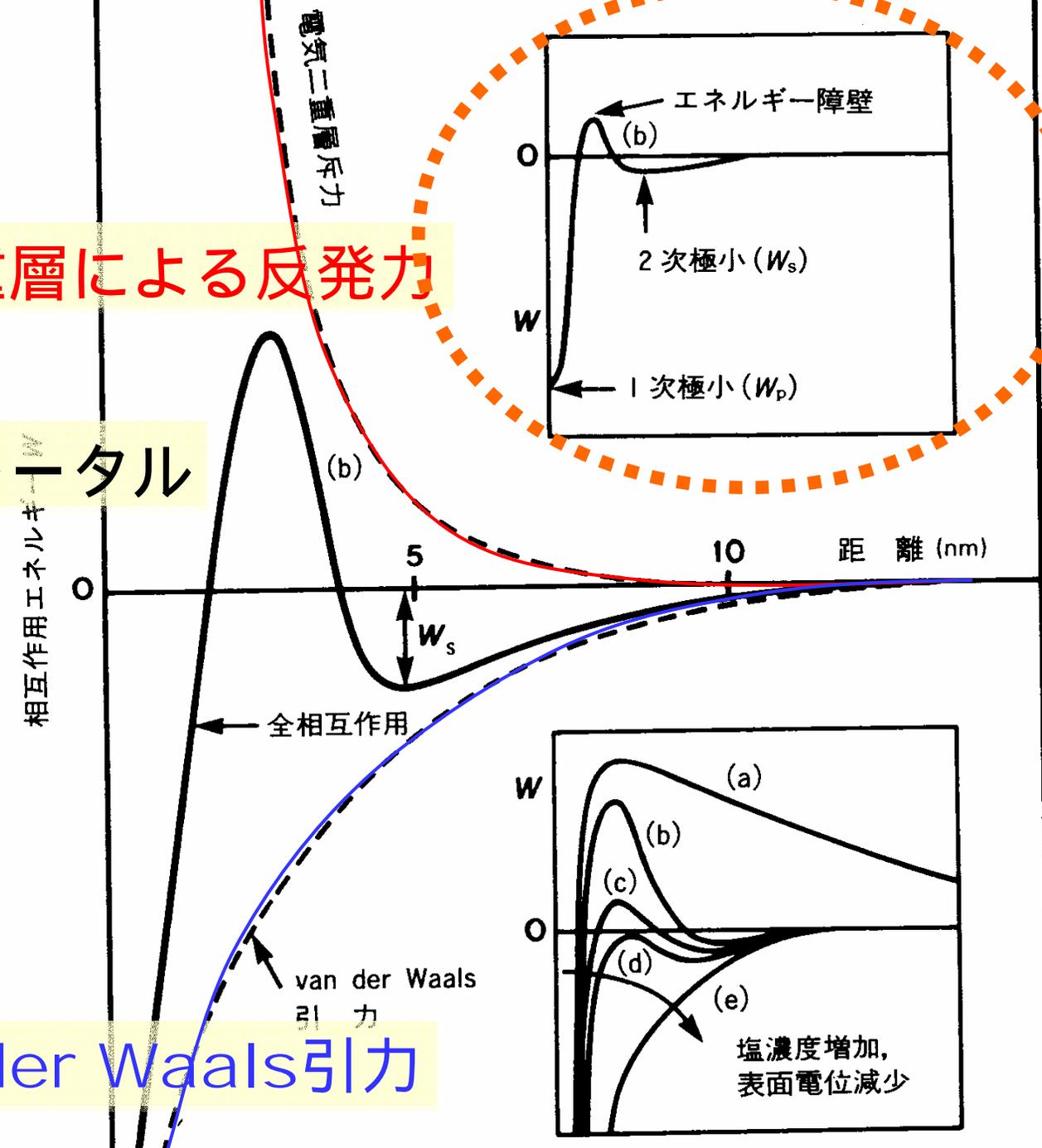

$$V_T(H) = 2\pi a \varepsilon_r \varepsilon_0 \psi_0^2 \exp(-\kappa H) - \frac{aA}{12H}$$

これを図に書いてみる

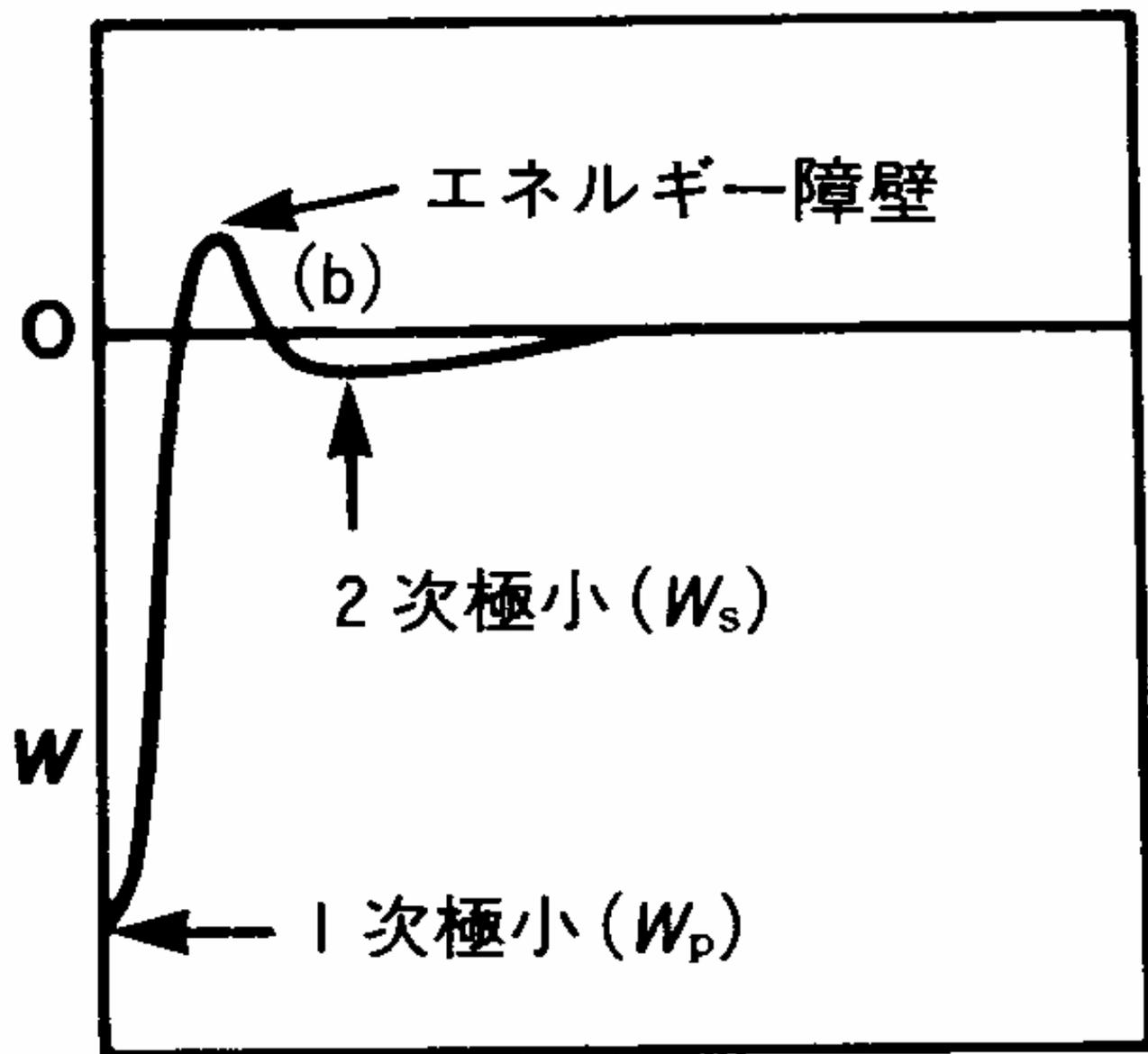


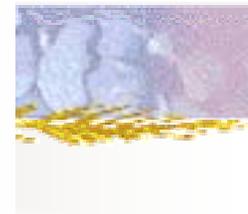
# 電気二重層による反発力

## トータル



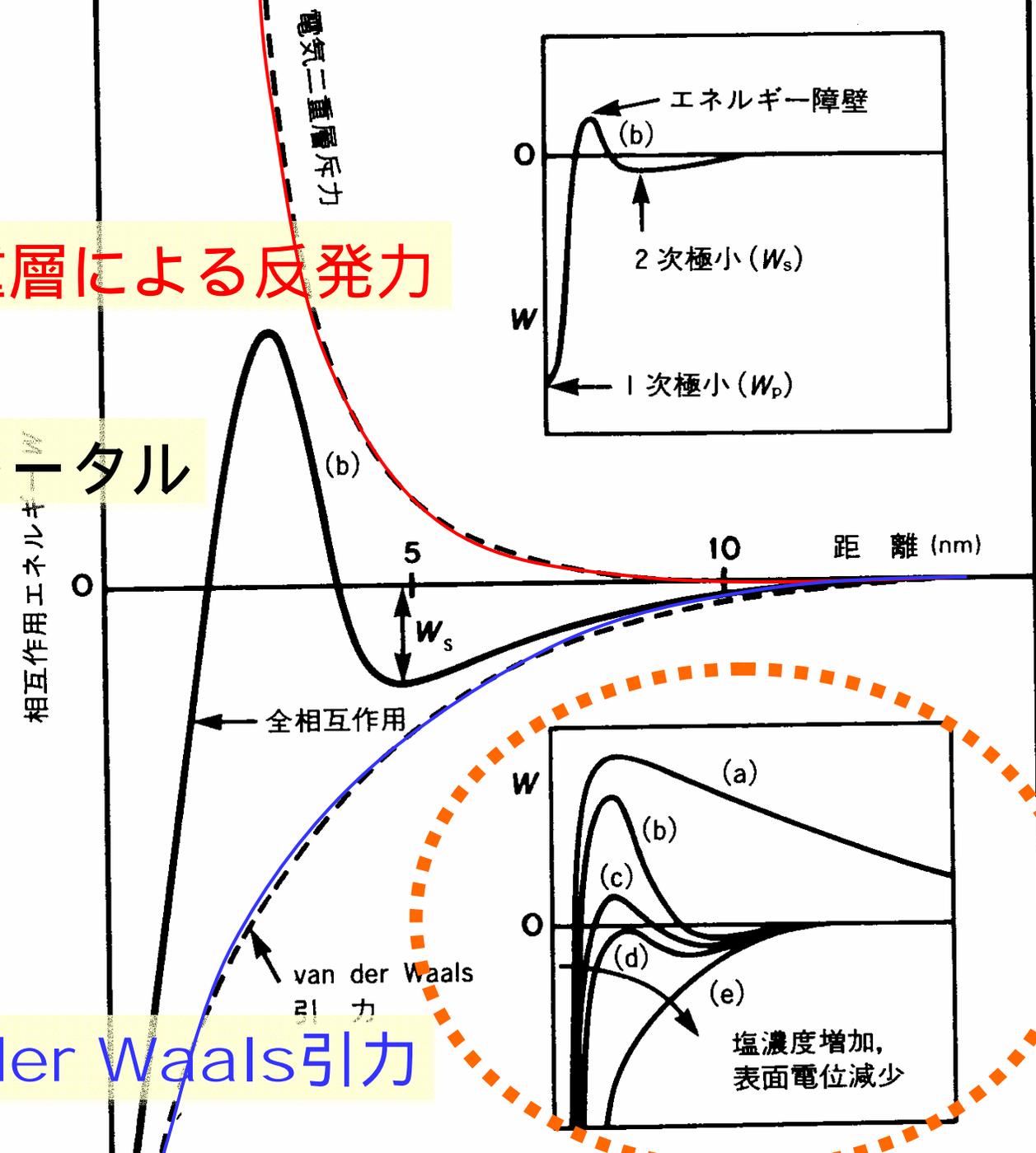
## van der Waals 引力



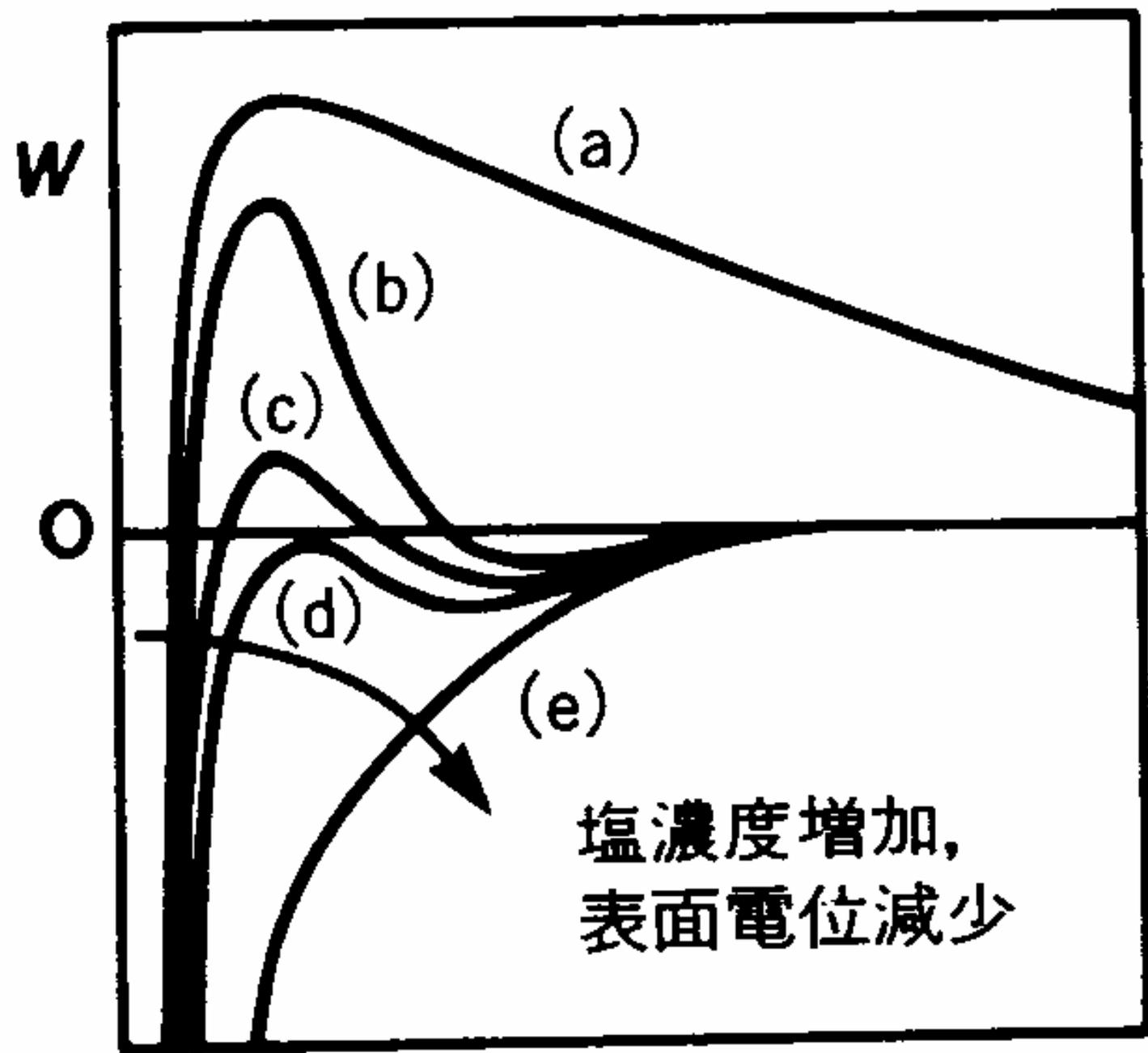


# 電気二重層による反発力

## トータル



## van der Waals 引力



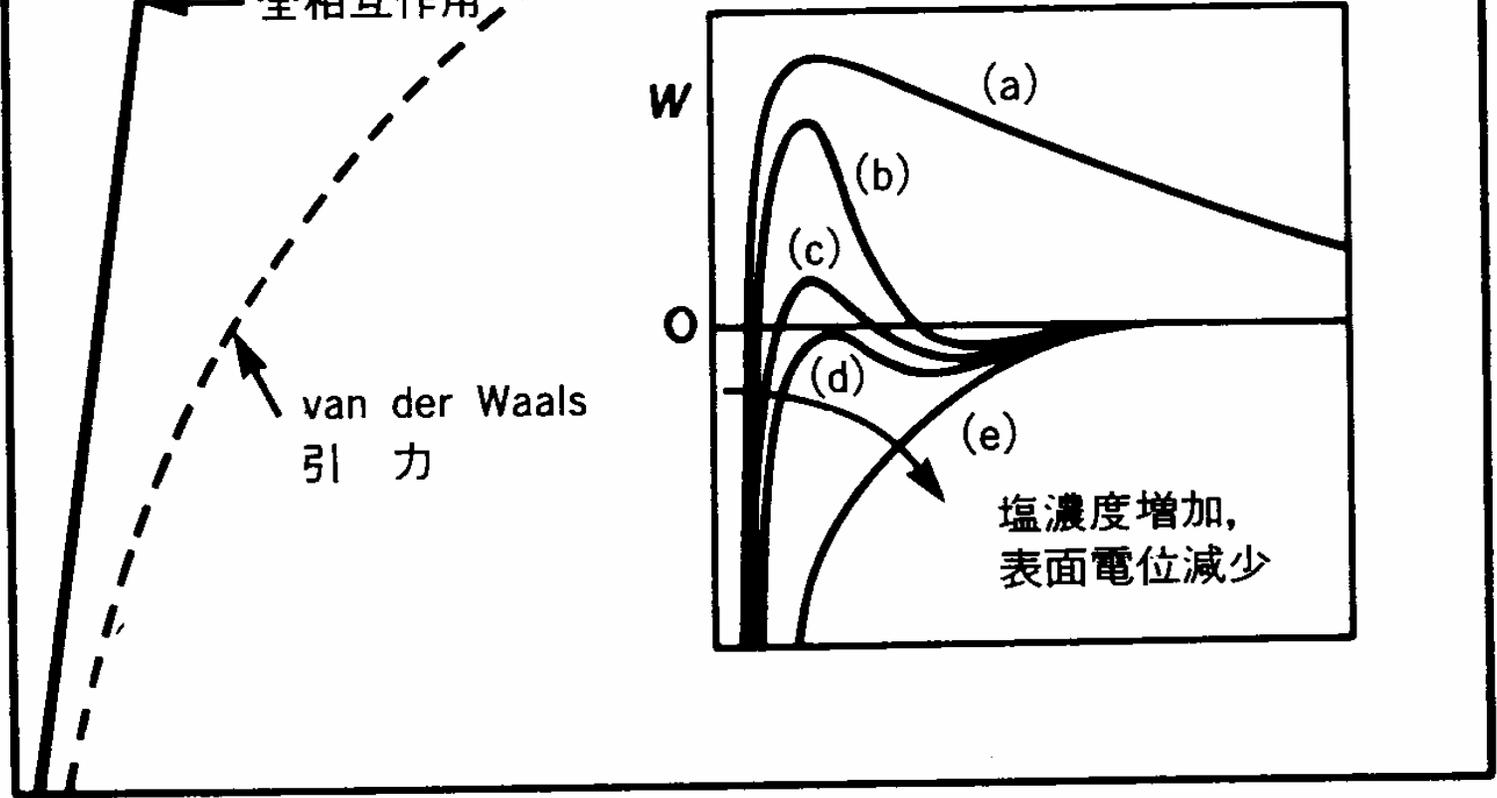
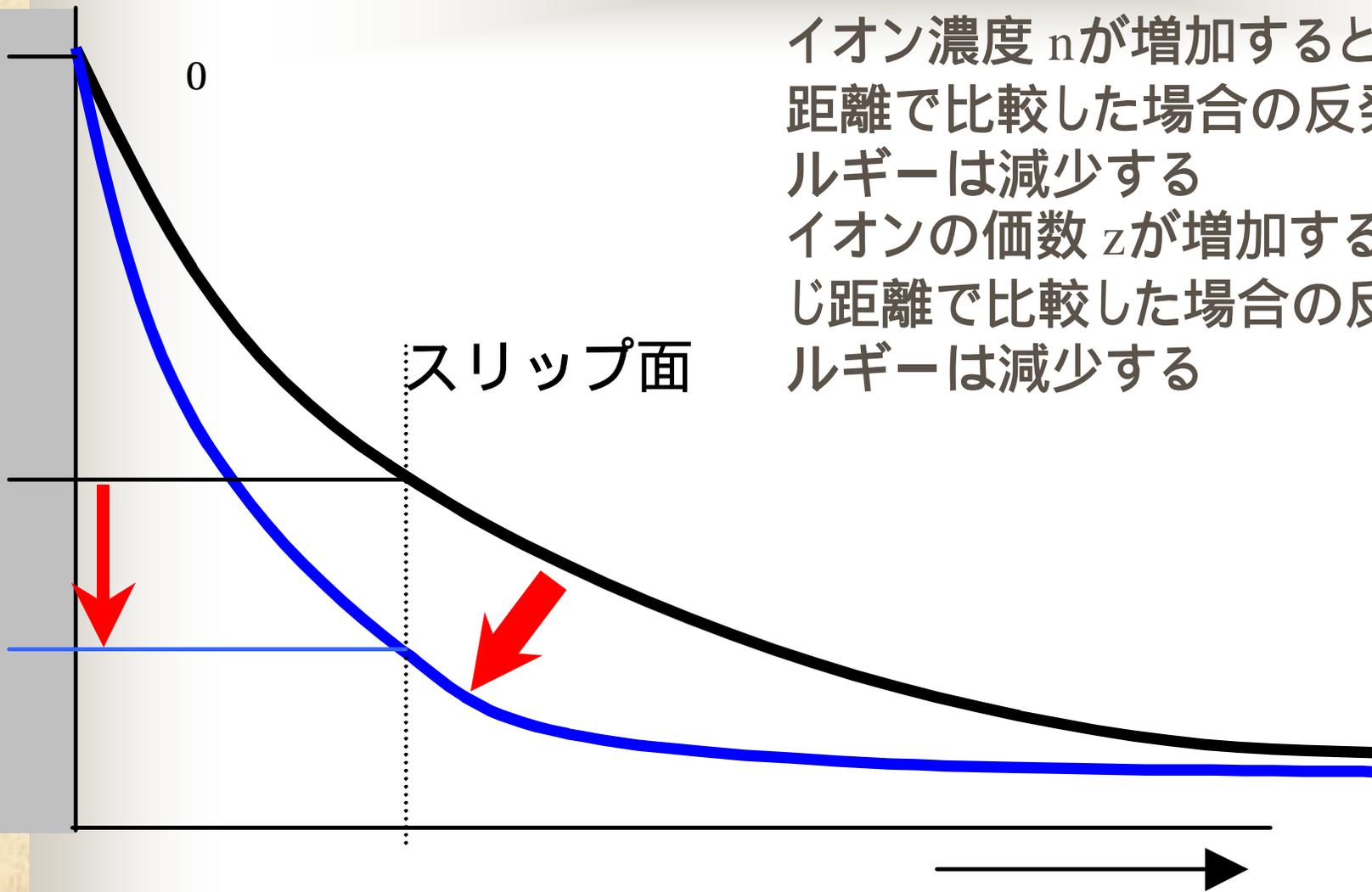


図 DLVO 相互作用のエネルギー対距離プロファイルの模式図

- (a) 表面は強く反発する; 小さいコロイド粒子は“安定”のままである。  
 (b) もし, 2次極小が十分深い場合, 表面はそこで安定な平衡になる; コロイドは“安定”のままである。  
 (c) 表面は2次極小に落ち込む; コロイドはゆっくり凝集する。  
 (d) 表面は2次極小に落ち込んだままか, または付着する; コロイドは急速に凝集する。  
 (e) 表面およびコロイドはともに急速に合一する。

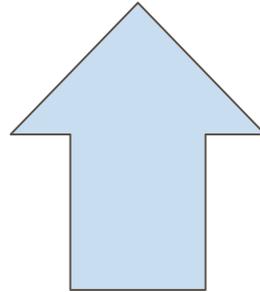


イオン濃度  $n$  が増加すると、同じ距離で比較した場合の反発エネルギーは減少する  
 イオンの価数  $z$  が増加すると、同じ距離で比較した場合の反発エネルギーは減少する

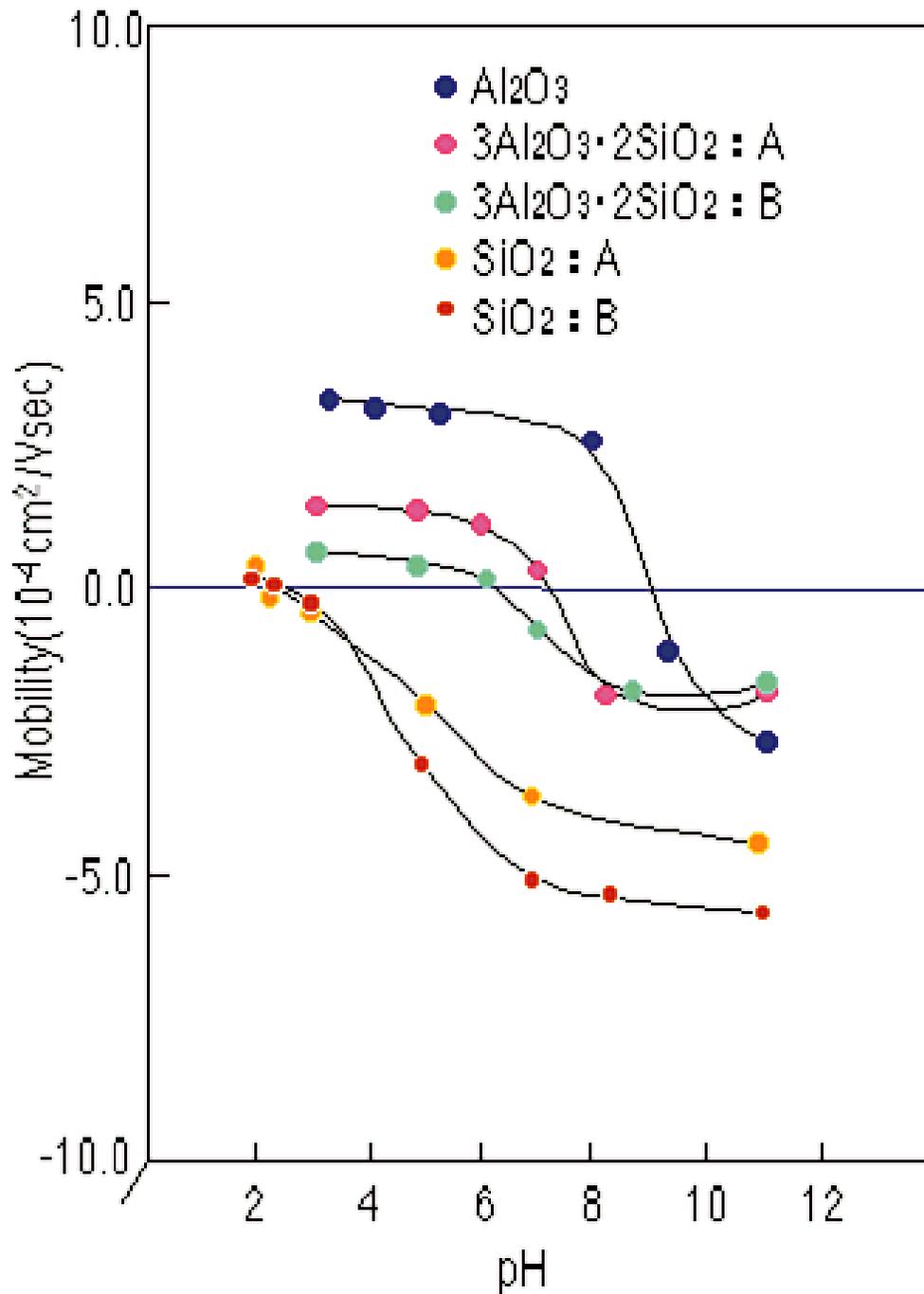
電位は減少する

距離

電解質 = 塩を入れると沈殿する



DLVO理論が証明



## アルミナ、シリカ、ムライトの 電位 vs pH

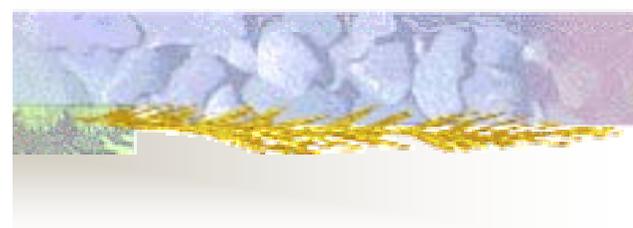
Smoluchowskiの式

$$U = \frac{4}{\eta \epsilon} \zeta$$

UはMobility

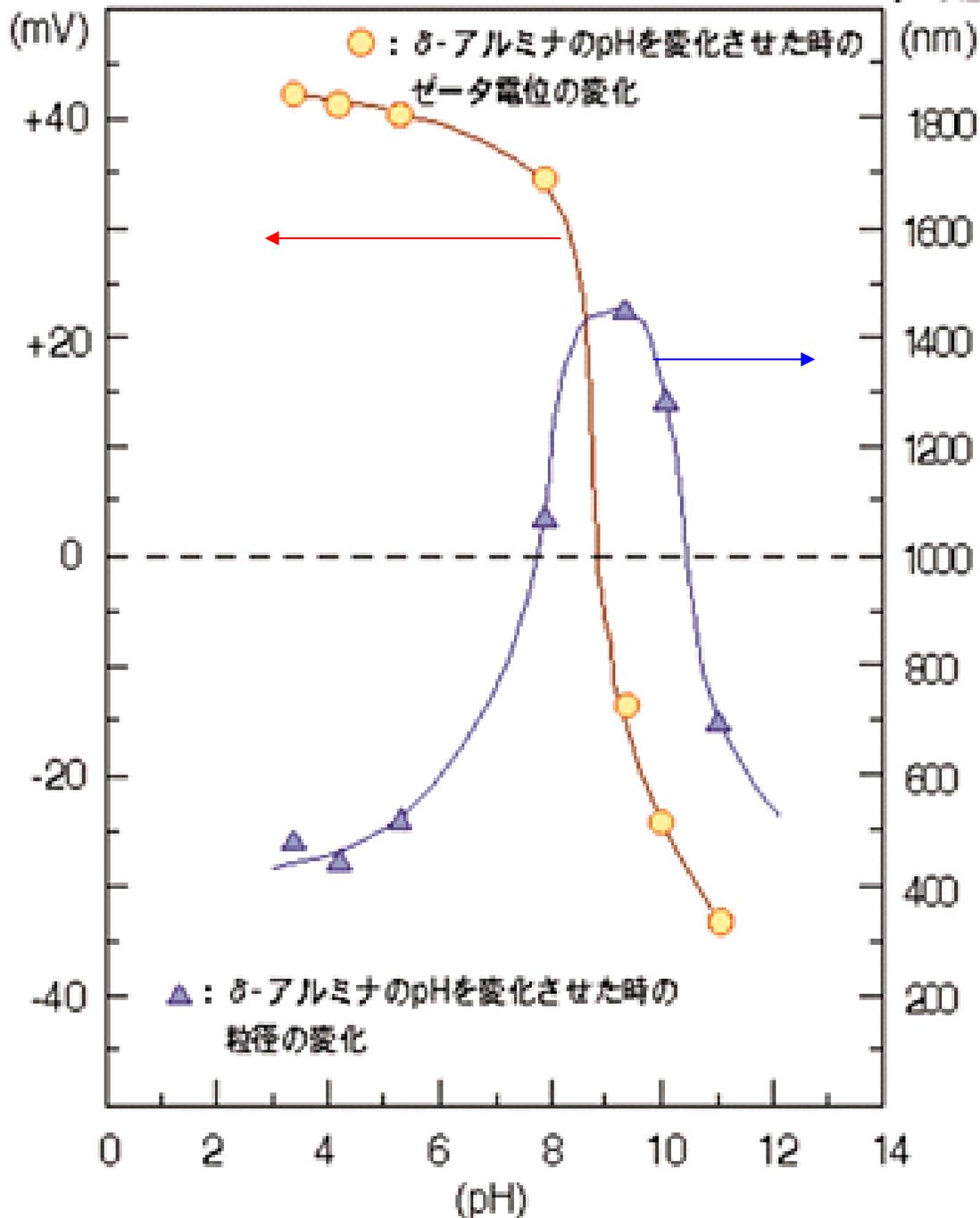
: 溶媒の粘度

: 溶媒の誘電率

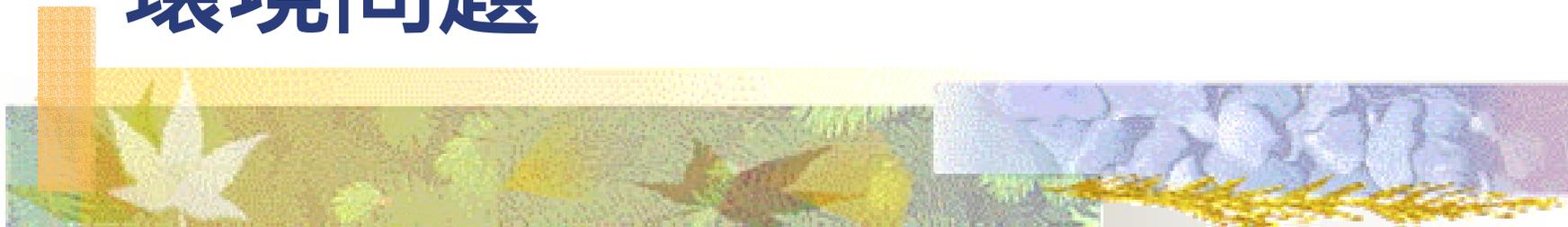


## 電位と粒径との関係

等電点(電位が0になるpH)では、静電的反発力がなくなり、凝集が起こり、粒径が大きくなる。



# 環境問題





# 地球規模の環境問題

- 地球温暖化
- ダイオキシン
- 環境ホルモン
- NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>

など



# 身の回りの環境問題

- ゴミ問題
- 環境汚染
  - 川や海の汚染問題
  - 大気汚染問題

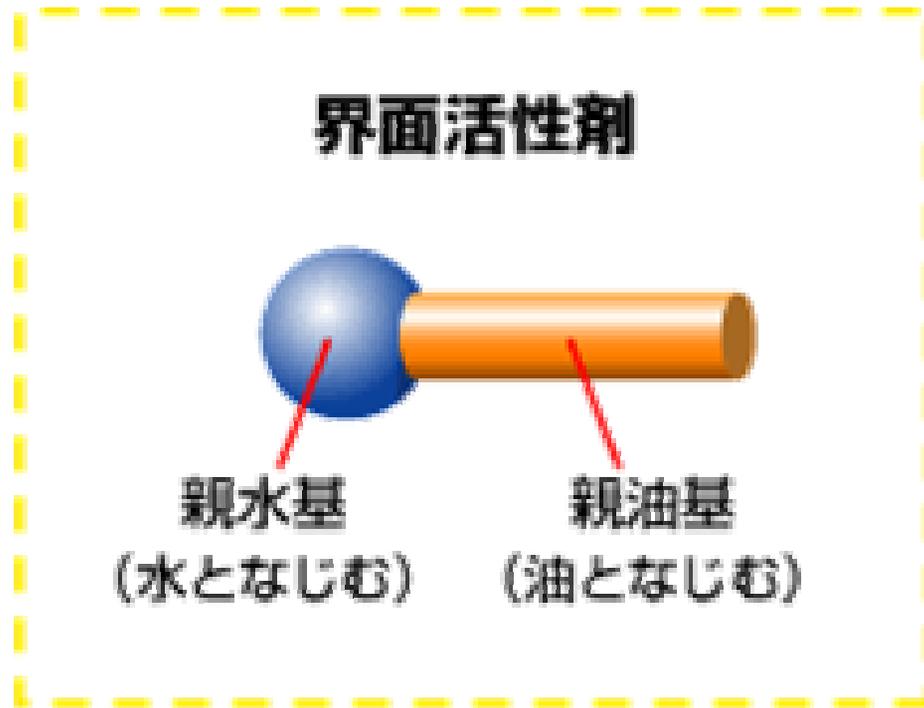


# 環境問題と界面電気化学

- 界面活性剤
  - 環境汚染につながるのか？
  - CO<sub>2</sub>排出と関係あるのか？
- ダイオキシン

# 界面活性剤とは

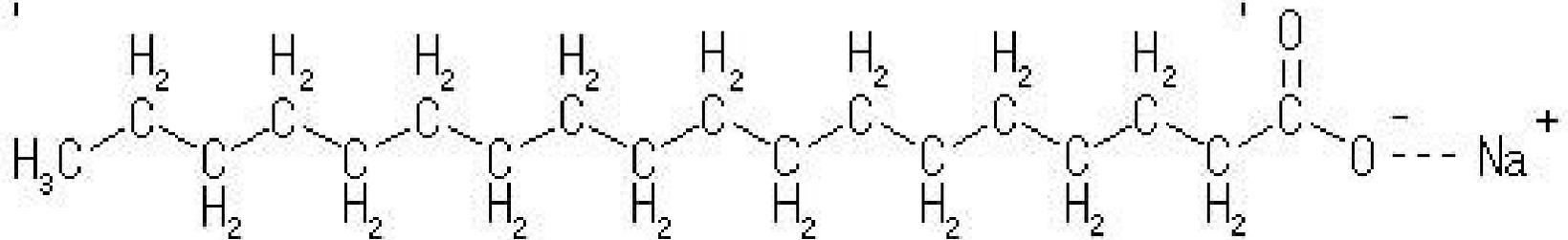
- 界面活性剤 Surfactant

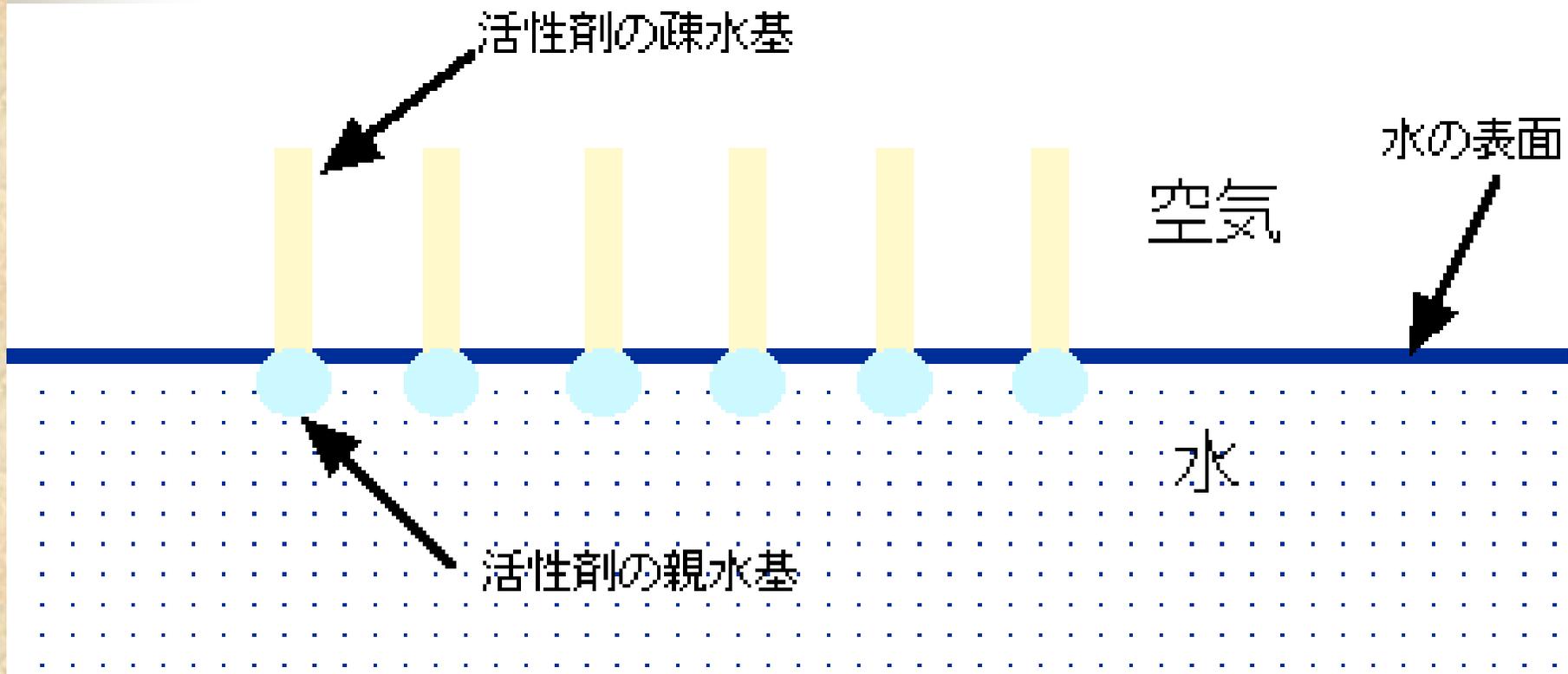


# 石鹼の構造

疎水基 (親油基)

親水基





# 界面活性剤の洗淨作用

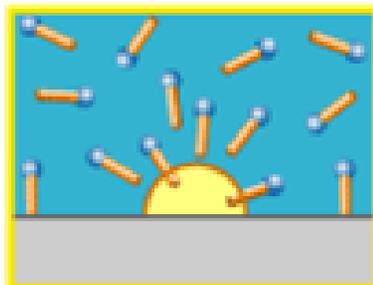
## 1 汚れ

油汚れがついた布を  
水にひたした状態です。



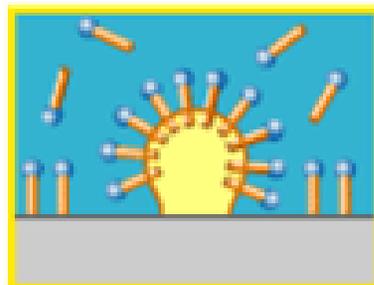
## 2 洗剤を入れる

水に溶けた界面活性剤が油汚れをとりか  
こみます。



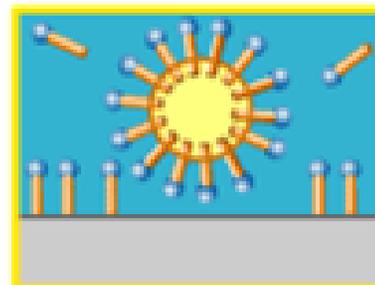
## 3 汚れがとれる

界面活性剤が油汚れを包み込んで浮き上  
がらせます。



## 4 すすぎ

界面活性剤に包み込まれた油汚れが洗い  
流されます。



# 石鹼の洗淨作用とは

- 水と油を混ぜ合わせる働きを持つ物質を界面活性剤という。界面活性剤の分子(界面活性分子)はその一端(親油基)が油に、もう一方の端(親水基)が水に馴染む性質を持っており、無数の界面活性分子の一端である親油基が油などの汚れを包み込むように取り巻くと、取り巻かれた汚れの外側は親水基で覆われるため、汚れは水に引っ張りだされる。これが、界面活性剤の洗淨作用。炭が水に分散するときの膠(にかわ)の働きと同じである。

# 石鹼と合成洗剤

- 洗淨用の界面活性剤の中で、脂肪酸ナトリウムと脂肪酸カリウムを『石鹼』と呼び、それ以外のものを『合成界面活性剤』と呼んでいる。

# 石鹼と洗剤

- 石けん：
  - 純石けん以外の界面活性剤を含有しないもの。すなわち界面活性剤が石けんのみのもの。
- 複合石けん：
  - 全界面活性剤中の石けん以外の界面活性剤が、洗濯用では30%以下、台所用では40%以下のもの。
- 合成洗剤：
  - 全界面活性剤中の石けん以外の界面活性剤が、洗濯用では30%以上、台所用では40%以上のもの。

(1)

区分	系列	種類	略号	構造
陰イオン系 (アニオン系)	脂肪酸系	高級脂肪酸塩(石けん)		$R-CO_2Na$
		$\alpha$ -スルホ脂肪酸メチルエステル塩	$\alpha$ -SF	$R-CH(SO_3Na)CO_2CH_3$
	直鎖アルキルベンゼン系	直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩	LAS	$R-\text{C}_6\text{H}_4-SO_3Na$
	高級アルコール系	アルキル硫酸エステル塩	AS	$R-OSO_3Na$
		アルキルエーテル硫酸エステル塩	AES	$R-O(CH_2CH_2O)_nSO_3Na$
		(モノ)アルキルリン酸エステル塩	MAP	$R-OPO(OH)ONa$
	アルファオレフィン系	$\alpha$ -オレフィンスルホン酸塩	AOS	$R-CH=CH(CH_2)_nSO_3Na$ $R-CH_2CH(OH)(CH_2)_nSO_3Na$
ノルマルパラフィン系	アルカンスルホン酸塩	SAS	$R-SO_3Na$	
非イオン系 (ノニオン系)	脂肪酸系	しょ糖脂肪酸エステル		$R-CO_2-A$
		ソルビタン脂肪酸エステル		$R-CO_2-A$
		ポリオキシエチレンソルビタン脂肪酸エステル		$R-CO_2-A-(CH_2CH_2O)_nH$
		ポリオキシエチレン脂肪酸エステル		$R-CO_2(CH_2CH_2O)_nH$

非イオン系 (ノニオン系)	脂肪酸系	ソルビタン脂肪酸エステル		$R-CO_2-A$
		ポリオキシエチレンソルビタン脂肪酸エステル		$R-CO_2-A-(CH_2CH_2O)_nH$
		ポリオキシエチレン脂肪酸エステル		$R-CO_2(CH_2CH_2O)_nH$
		脂肪酸アルカノールアミド		$R-CON(CH_2CH_2OH)_2$
	高級アルコール系	ポリオキシエチレンアルキルエーテル	AE	$R-O(CH_2CH_2O)_nH$
		アルキルグリコシド	AG	$R-O-A$
アルキルフェノール系	ポリオキシエチレンアルキルフェニルエーテル	APE	$R-\text{C}_6\text{H}_4-O(CH_2CH_2O)_nH$	
両性イオン系	アミノ酸系	アルキルアミノ脂肪酸塩		$R-NHCH_2CH_2CO_2Na$
	ベタイン系	アルキルベタイン		$R-N^+(CH_3)_2CH_2CO_2^-$
	アミノオキシド系	アルキルアミノオキシド		$R-N^+(CH_3)_2-O^-$
陽イオン系 (カチオン系)	第4級アンモニウム系	アルキルトリメチルアンモニウム塩		$R-N^+(CH_3)_3Cl^-$
		ジアルキルジメチルアンモニウム塩		$R_2-N^+(CH_3)_2Cl^-$
		アルキルジメチルベンジルアンモニウム塩		$R-N^+(CH_3)_2CH_2PhCl^-$
	アミン塩系	Nメチルビスヒドロキエチルアミン脂肪酸エステル・塩酸塩		$(R-CO_2CH_2CH_2)_2NCH_3 \cdot HCl$

(2)

区分	系列	種類	略号	構造
陰イオン系 (アニオン系)	脂肪酸塩型	高級脂肪酸塩 (石けん)		$R-CO_2Na$
	硫酸エステル型 (サルフェート型)	アルキル硫酸エステル塩	AS	$R-OSO_3Na$
		アルキルエーテル硫酸エステル塩	AES	$R-O(CH_2CH_2O)_nSO_3Na$
	スルホン酸型 (スルホネート型)	直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩	LAS	$R-\text{C}_6\text{H}_4-SO_3Na$
		$\alpha$ -スルホ脂肪酸メチルエステル塩	$\alpha$ -SF	$R-CH(SO_3Na)CO_2CH_3$
		$\alpha$ -オレフィンスルホン酸塩	AOS	$R-CH=CH(CH_2)_nSO_3Na$ $R-CH_2CH(OH)(CH_2)_nSO_3Na$
		アルカンスルホン酸塩	SAS	$R-SO_3Na$
リン酸エステル型 (フォスフェート型)	(モノ) アルキルリン酸エステル塩	MAP	$R-OPO(OH)ONa$	
非イオン系 (ノニオン系)	エーテル型	ポリオキシエチレンアルキルエーテル	AE	$R-O(CH_2CH_2O)_nH$
		ポリオキシエチレンアルキルフェニルエーテル	APE	$R-\text{C}_6\text{H}_4-O(CH_2CH_2O)_nH$
	多価アルコールエーテル型	アルキルグリコシド	AG	$R-O-A$
	エステル型	ポリオキシエチレン脂肪酸エステル		$R-CO_2(CH_2CH_2O)_nH$

陰イオン系 (アニオン系)		アルキルエーテル硫酸エステル塩	AES	$R-O(CH_2CH_2O)_nSO_3Na$
	スルホン酸型 (スルホネート型)	直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩	LAS	$R-\text{C}_6\text{H}_4-SO_3Na$
		$\alpha$ -スルホ脂肪酸メチルエステル塩	$\alpha$ -SF	$R-CH(SO_3Na)CO_2CH_3$
		$\alpha$ -オレフィンスルホン酸塩	AOS	$R-CH=CH(CH_2)_nSO_3Na$ $R-CH_2CH(OH)(CH_2)_nSO_3Na$
		アルカンスルホン酸塩	SAS	$R-SO_3Na$
リン酸エステル型 (フォスフェート型)	(モノ) アルキルリン酸エステル塩	MAP	$R-OPO(OH)ONa$	
非イオン系 (ノニオン系)	エーテル型	ポリオキシエチレンアルキルエーテル	AE	$R-O(CH_2CH_2O)_nH$
		ポリオキシエチレンアルキルフェニルエーテル	APE	$R-\text{C}_6\text{H}_4-O(CH_2CH_2O)_nH$
	多価アルコールエーテル型	アルキルグリコシド	AG	$R-O-A$
	エステル型	ポリオキシエチレン脂肪酸エステル		$R-CO_2(CH_2CH_2O)_nH$
	多価アルコールエステル型	しょ糖脂肪酸エステル		$R-CO_2-A$
		ソルビタン脂肪酸エステル		$R-CO_2-A$
		ポリオキシエチレンソルビタン脂肪酸エステル		$R-CO_2-A-(CH_2CH_2O)_nH$
その他	脂肪酸アルカノールアミド		$R-CON(CH_2CH_2OH)_2$	

# 合成界面活性剤の悪夢

- 石鹼(高級脂肪酸のナトリウム塩)は 24時間 で水と二酸化炭素に完全に分解されるが、水温 10 の条件下では、LAS (合成洗剤の主成分：陰イオン系合成界面活性剤=直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム) はほとんど分解しない。

# 合成界面活性剤の悪夢

- 20 の条件下になっても、ABS(分枝型アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム)はほとんど分解されず、LAS は8日目にして界面活性はなくなるが、まだ有機炭素という形で残存する。また、石鹼カスは微生物の栄養源となり生態系にリサイクルされるが、LAS の場合は1日目にはまだ90%も残っており、毎日洗濯していればLAS は衣類にずっと残っていることになる

# 臨界ミセル濃度

- 界面活性剤の水中での濃度を高くしていくと、ある濃度以上で界面活性剤分子が数十個集合して塊を作る。これをミセル(会合体)といい、このミセルのできる濃度を臨界ミセル濃度(CMC)と呼んでおり、この濃度以上で洗浄力を発揮する。

# 石鹼のCMC

- 合成界面活性剤に比べて大きい
- 粉石けんの場合、種類にもよるが0.05%前後である。むやみに多く使う必要はないが少ないとCMC以下になり洗淨力が発揮できないことになる。汗等で汚れが多い時、石けんが少ないとCMCに達せず、汚れがポリエステルなどの化繊に吸着し、黒ずむことがある。

# 石鹼と合成界面活性剤

- 石鹼の方が多く使う
  - CMCが大きいいため
- 石鹼の方のBOD(生物的酸素要求量)が多い(LASの7倍程度)
- 従って、石鹼も環境に優しいとは必ずしも言えない

# 地球環境問題



# ダイオキシン問題





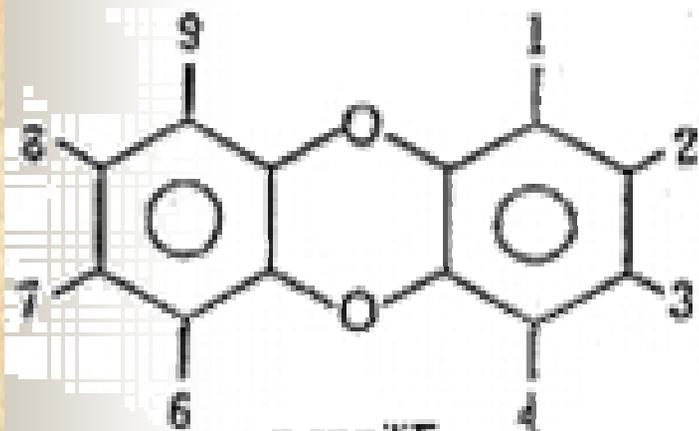
# ダイオキシン

- 正確にはダイオキシンは1種類
- 環境問題では「ダイオキシン類」として一緒に扱われている

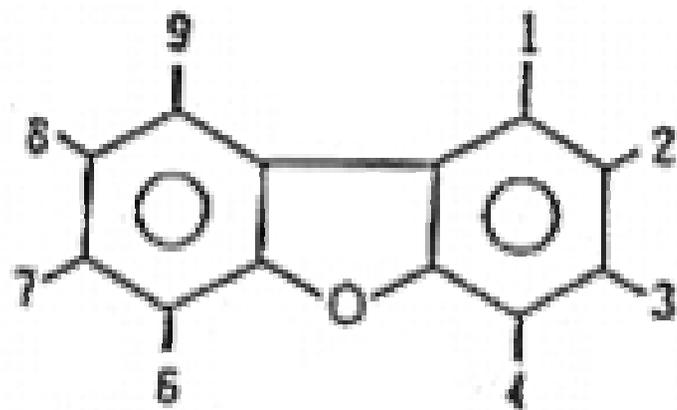
# ダイオキシン

- ポリ塩化ジベンゾパラダイオキシンとポリ塩化ジベンゾフランの総称である。PCBと同じく塩素のつく位置や数により、多くの種類があり、種類によって毒性が異なる。特にダイオキシンの一種である2, 3, 7, 8 - テトラクロロジベンゾパラダイオキシン (2, 3, 7, 8 - TCDD) は動物実験でごく微量でもがんや胎児に奇形を生じさせるような性質を持っている。

# ダイオキシン

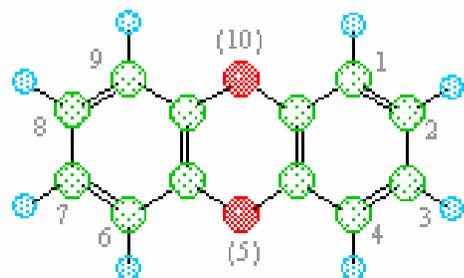


PCDD類

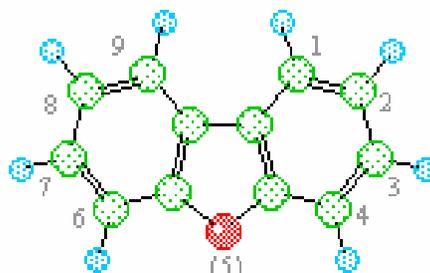


PCDF類

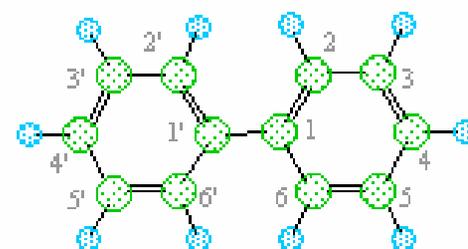
# ダイオキシン



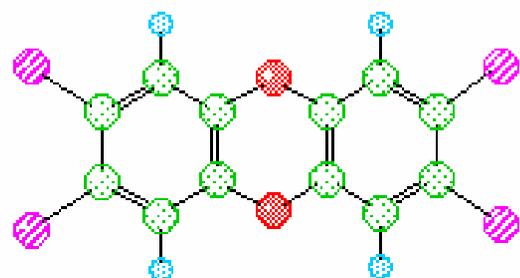
dibenzo-*p*-dioxin



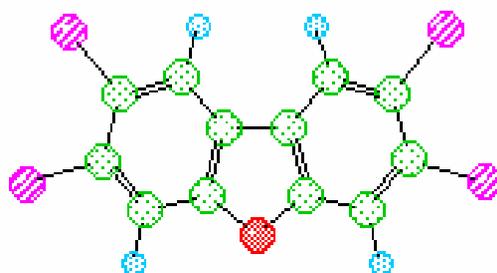
dibenzofuran



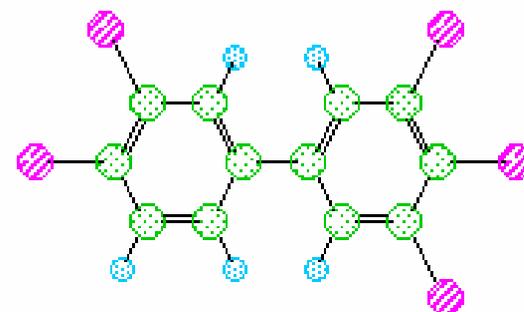
biphenyl



2,3,7,8-TCDD

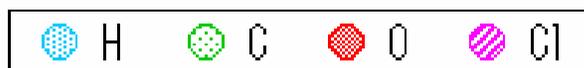


2,3,7,8-TCDF



3,3',4,4',5-PeCB

0 0.5nm



● ダイオキシン類の代表例と骨格構造

	2,3,7,8-TCDD	OCDD
分子量	322	456
融点 (°C)	305	130
分解温度 (°C)	> 700	> 700
溶解度 (ppm)		
O-ジクロロベンゼン	1,400	1,830
クロロベンゼン	720	1,730
キシレン	-	3,580
ベンゼン	570	-
クロホルム	370	560
n-オクタノール	48	-
メタノール	10	-
アセトン	110	380
水	0.072 ppb	-
蒸発速度 (水) cm/day	$1.7 \times 10^2$	-
化学的安定性		
通常の酸	安定	安定
酸化剤	強酸化剤により分解	安定
アルカリ	安定	条件により分解
光	分解	分解

## 2,3,7,8 TCDDの物理化学的性質

- 分子量: 321.9
- 融点: 305 ~ 306 ° C
- 溶解度: 水  $2 \times 10^{-7}$  (g/l 25 ° C)
- メタノール       0.01 (g/l 25 ° C)
- クロロホルム       0.55 (g/l 25 ° C)
- 0-ジクロロベンゼン   1.8 (g/l 25 ° C)
- 最大吸収スペクトル   : 310nm (クロロホルム)
- オクタノール/水分配係数:  $\log K_{ow} 5.82 \pm 0.02$

# ダイオキシン問題の歴史

- 1957年米国ジョージア州で鶏やその雛が数百万羽突然死する事件が発生した。鳥の餌に混入された油に微量含まれていたダイオキシンのためであることが判明。
- また1958年にはダイオキシンの動物に対する急性毒性に関して、ドイツの学者が初めて報告している。

# ダイオキシン問題の歴史

- ベトナム戦争では、米軍は、ベトコンゲリラの活動拠点となっていたジャングルを枯らすために7,200万Lの除草剤「エージェント・オレンジ」= 2,4-D をばらまいたが、その中に170kgもの量のダイオキシンが含有されていた。戦後、米軍の行った「枯葉作戦」が、ベトナム現地人やこの作戦にかかわった米軍兵士の子孫に大きな悪影響を与えたことが判明。

	流産率		先天異常発生率	
	枯葉剤撒布前	枯葉剤撒布後	枯葉剤撒布前	枯葉剤撒布後
ルンフー村	5.22	12.20		
ルンフア村	4.31	11.57	0.14	1.78
タンディエン村	7.18	16.05		
マイタン村（対照地区）	7.33	7.40	No data	

表 2-1 ベトナムにおける妊娠女性に対する枯葉剤の影響

発生数（発生率）	タンフォン村被曝グループ	ホーチミン市第10区被曝グループ	ホーチミン市第10区非被曝グループ
流産	587 (8.01%)	49 (16.67%)	242 (3.62%)
死産	59 (0.81%)	1 (0.34%)	2 (0.03%)
胞状奇胎	54 (0.74%)	11 (3.74%)	26 (0.39%)
新生児死亡	914 (12.47%)	-	311 (4.65%)
先天異常	81 (1.11%)	16 (5.44%)	29 (0.43%)
新生児までの死亡	1614 (22.03%)	61 (20.75%)	581 (8.68%)
全妊娠数	7327	294	6690

表 2-2 ベトナムにおける妊娠女性に対する枯葉剤の影響

先天異常	対照群発生率(A) [%]	さらされた群発生率 (B) [%]	B/A
不妊	1.20	2.80	2.3
早産	0.61	2.01	3.3
流産	9.04	14.42	1.6
奇形児	0.21	3.14	15.0

表3 ベトナム戦争参加兵士の妻の妊娠異常

# ダイオキシン問題の歴史

- 1976年イタリア・セベソの化学工場事故
  - 化粧品や外科手術用の石鹼の原料になるTCPという化学物質製造中の事故
  - 不純物としてダイオキシン類が混在



# 日本のダイオキシン問題

- カネミ精油工場が1968年2月はじめに製造した米ヌカ油に、脱臭工程の熱媒体として使用されていた「カネクロール400」(PCB)が混入したことが原因で引き起こされたもの。約2,000人の認定患者。
- 典型的な急性中毒症状である末梢神経症状(しびれ、脱力など)、ホルモン異常、肝・腎臓障害など 黒いにきび(クロルアクネ) 原因物質の推定:ダイベンゾフラン(ダイオキシン類)



# 原因物質の追求

- ポリ塩化ビニルは犯人か？
- 一般焼却炉では何が起きているのか？
- 塩素は除去できないか？

表3 - 10 発生源別ダイオキシン発生量 (gTEQ/年)

発生源	ダイオキシン排出量	備考
<b>&lt; 燃焼工程 &gt;</b>		
一般廃棄物焼却	4300	ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等が ドラインより
産業廃棄物焼却	547 ~ 707	平岡京都大学名誉教授より(以下の燃焼行程は同 じ)
金属精錬	250	
石油添加剤(潤滑 油)	20	
たばこの煙	16	
回収黒液ボイラー	3	
木材、廃材の焼却	0.2	
自動車排ガス	0.07	
(小計)	(5140 ~ 5300)	
<b>&lt; 漂白工程 &gt;</b>		
晒クラフトパルプ	0.78	環境庁試算
<b>&lt; 農薬製造 &gt;</b>		
P C N B	0.06	環境庁試算
<b>合計</b>	<b>5140 ~ 5300</b>	

# ポリ塩化ビニル

- CO<sub>2</sub>排出抑制と石油資源枯渇化を回避する優等生 = ポリ塩化ビニル
- $-(\text{CH}_2-\text{CHCl})-$  モノマー分子量 62.5
- ポリエチレン  $-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)-$  28に比べて分子量が大きい
- 単位重量あたりの石油使用量が少ない
- 単位重量あたりのCO<sub>2</sub>排出量が少ない

# ゴミにビニールは含まれていない

- 水 + 食塩 + 炭化水素類 + 触媒
  - この組合せで生成する
  - 触媒としては、銅(酸化銅など) + シリカやアルミナなどが想定される
- 犯人は水分の多いゴミ類

# ダイオキシン生成は速度論

- 燃焼温度が重要
- 活性化エネルギー
  - 触媒が絡むとダイオキシン生成ルート of 活性化エネルギーが下がる
- 生成経路
  - 完全燃焼への経路を確保せよ

表 1 燃焼温度とダイオキシン類濃度の関係

燃焼温度(°C)		700 未満	700 以上 750 未満	750 以上 800 未満	800 以上 850 未満	850 以上 900 未満	900 以上 950 未満	950 以上 1000 未満	1000 以上
ダイオキシン類濃度 (ng-TEQ/Nm <sup>3</sup> )	平均値	36	81	77	26	25	17	30	14
	中央値	13	33	11	11	7.8	7.8	7	7
	最大値	390	500	1800	600	590	210	480	83
	最小値	0.2	0.57	0.22	0	0	0	0.01	0
検体数(合計 1111)		79	34	43	206	380	234	85	50

図1 燃焼温度とダイオキシン類濃度の関係

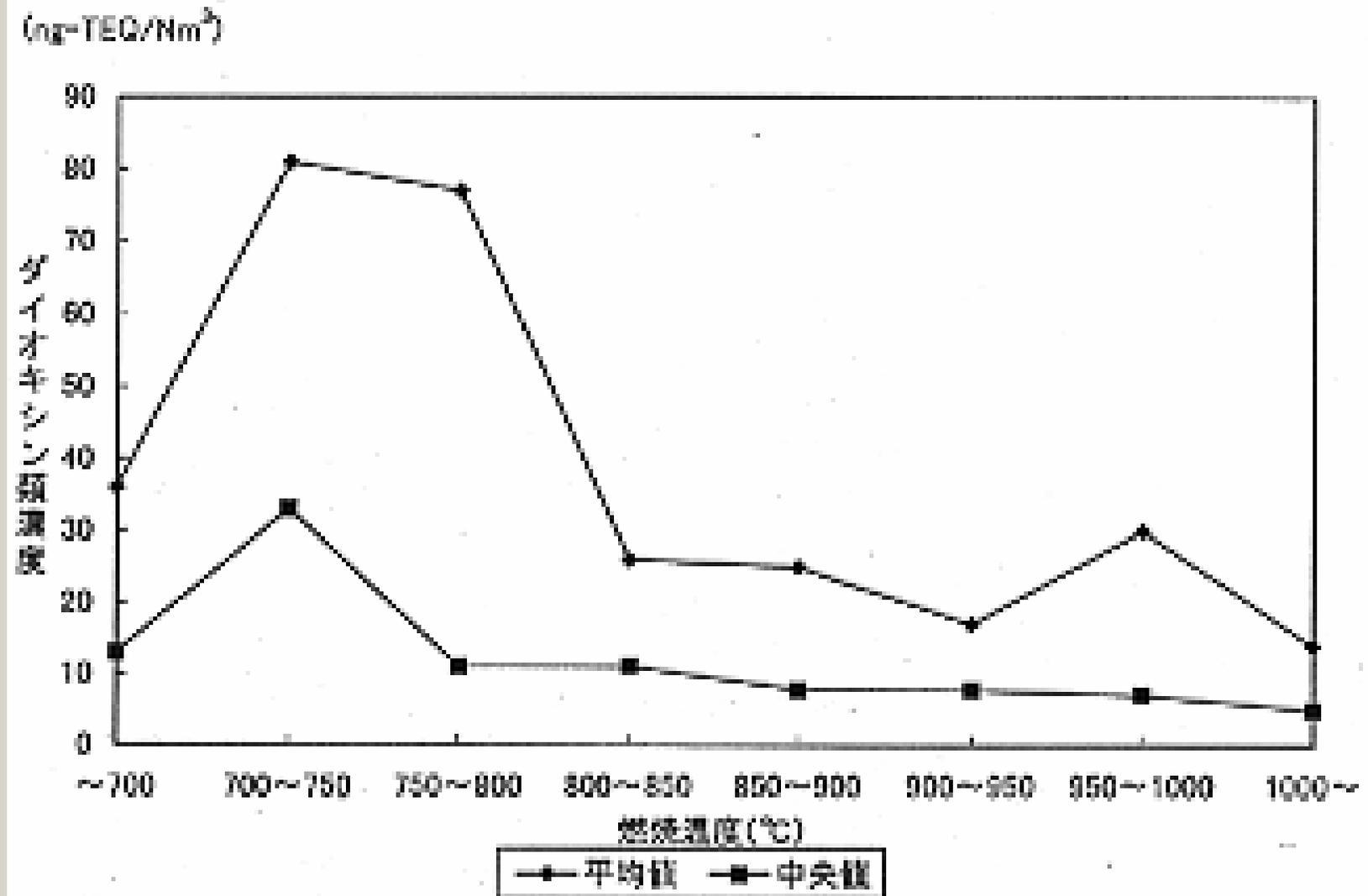
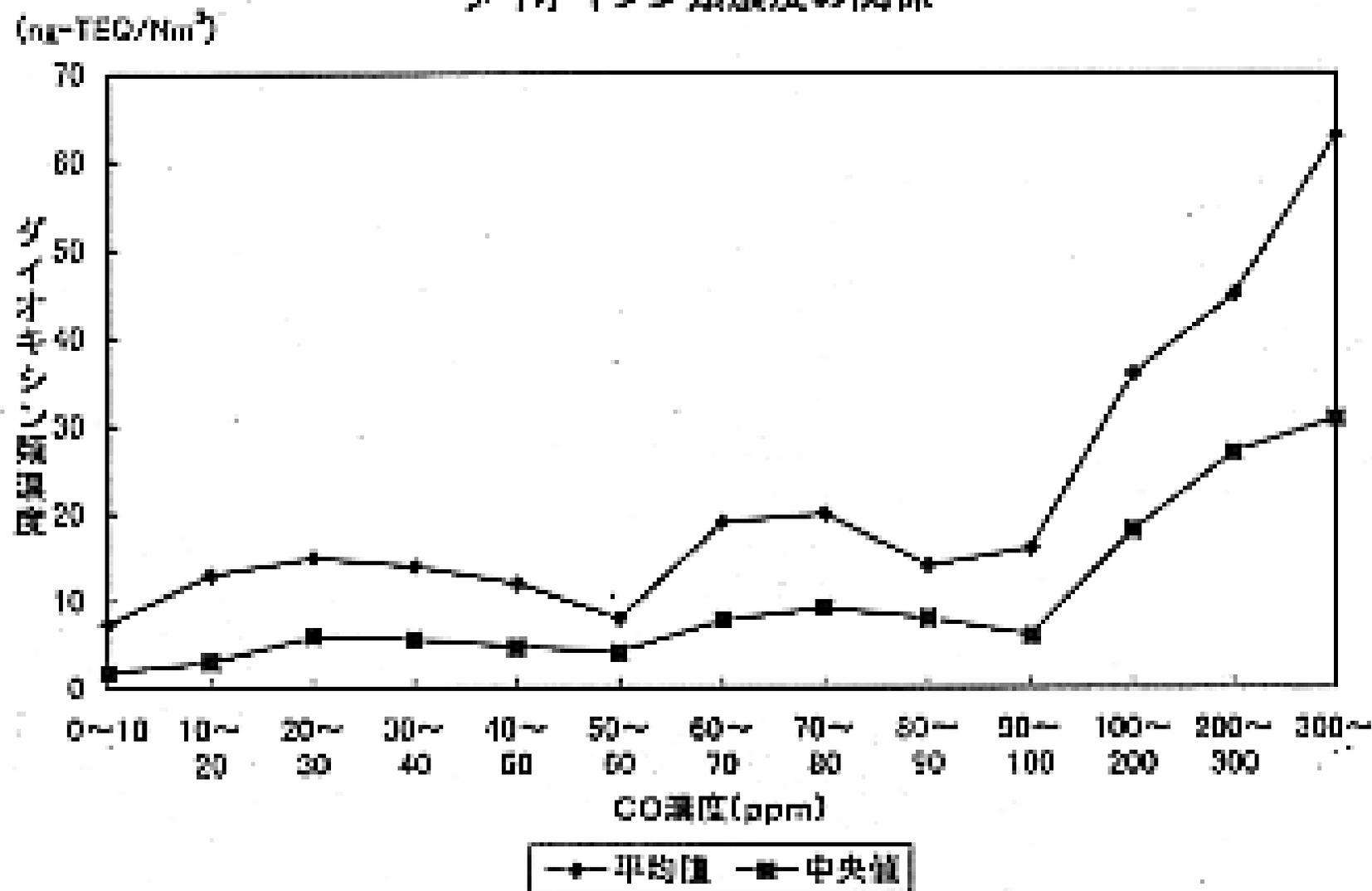


図3 煙突出口における排ガス中のCO濃度とダイオキシン類濃度の関係





# 身の回りのダイオキシン排出抑制

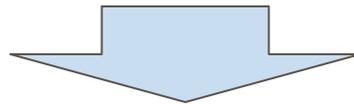
- 生ゴミは出さない
  - 食べ物は残さない
  - 無駄なものは買わない、など
- 出してもちゃんと水切りをする
  - 燃焼温度を下げないようにする
  - 水の供給を避ける
- 分別収集に協力する

# ダイオキシンかCO<sub>2</sub>か

- ゴミの完全燃焼
  - CO<sub>2</sub>排出増加
- ポリ塩化ビニルを止める
  - ポリエチレン等とポリアルケン類の使用
  - CO<sub>2</sub>排出増加

# 地球環境問題一般に通じること

- 生活が豊かになり排出物増加
- 環境汚染物質は速度論的に言えば、中間生成物
- 最終的にはCO<sub>2</sub>となる



- 省エネルギー、省資源こそ環境問題を解決する最終的解決策