

## 第35回 CIS研究所パートナー会 議事録

日時 2014年3月22日(土) 13時 ~ 17時

場所 CIS会議室

- 1) サロン 講師: 竹内 学 様  
テーマ 「帯電粒子の付着力」



会議風景

或るワークショップの基調講演の中から、微小粒子の帯電についての話題提供である。

### 2) 帯電粒子の付着力 (竹内様)

#### 1. 粒子の付着力

- 1.1 ファン・デル・ワールスカ
- 1.2 液架橋力
- 1.3 静電気力
- 1.4 静電気力とその他の力の比較
- 1.5 付着限界粒径

#### 2. 粒子の付着力に関する最近の話題

粒子に作用する力

ファン・デル・ワールス力の話の前に、粒子に作用する力をまとめる。

1) 重 力	$mG=4\pi G\rho r^3/3$	}	$r^3$
2) 慣 性 力	$m (dv/dt)$		
3) 分 極 力	$2\pi\epsilon_0(k-1)(k+2)^{-1} r^3 \text{grad } E^2$		
4) 磁 気 力	$2\pi\mu_0(\mu-\mu_0)(\mu+2\mu_0)^{-1} r^3 \text{grad } H^2$		
<hr/>			
5) 外部電場による力	$q_i E=4\pi r^2 q_j E$	}	$r^2$
6) 鏡 像 力	$q_i^2/16\pi r^2=\pi r^2 q_j^2$		
<hr/>			
7) ファンデルワールス力	$Hr/6d^2, (d \ll r)$	}	$r$
8) 空気抵抗	$6\pi\eta r v$		
9) 局所帯電			

電子写真学会編:電子写真技術の基礎と応用、p.465 (コロナ社、1988)

工業的には、カールソンプロセスと呼ばれるコピー機で最も重要な、ファン・デル・ワールス力から本日の話題を始めることにする。

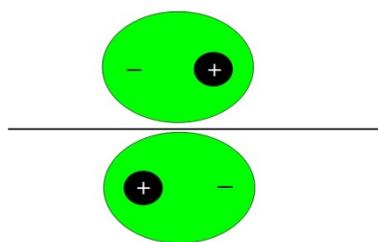
(カールソンプロセスは記載を省略)

参照: ゼログラフィー (Wikipedia)

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%BC%E3%83%AD%E3%82%B0%E3%83%A9%E3%83%95%E3%82%A3>

### 1.1 ファン・デル・ワールス力

ファン・デル・ワールス力は二つの物体があると必ず存在する(必ず引力になる)。



ファン・デル・ワールス力 (0.1mm 以下で有効)

### ファン・デル・ワールス力

- 1) 平板-平板間(単位面積あたり)

$$F_v = \frac{A}{6\pi z^3} \quad (1)$$

平面では距離の 3 乗に逆比例

- 2) 球-球(粒径:ともに  $d$ )

$$F_v = \frac{A}{24z^2} d \quad (2)$$

球では距離の 2 乗に逆比例

- 3) 平板-球(粒径:  $d$ )

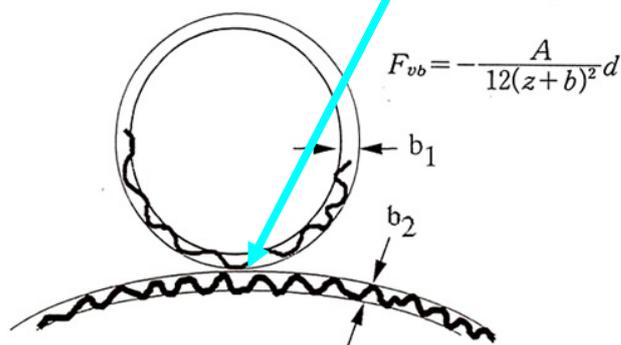
$$F_v = \frac{A}{12z^2} d \quad (3)$$

平板と球では距離の 2 乗に逆比例

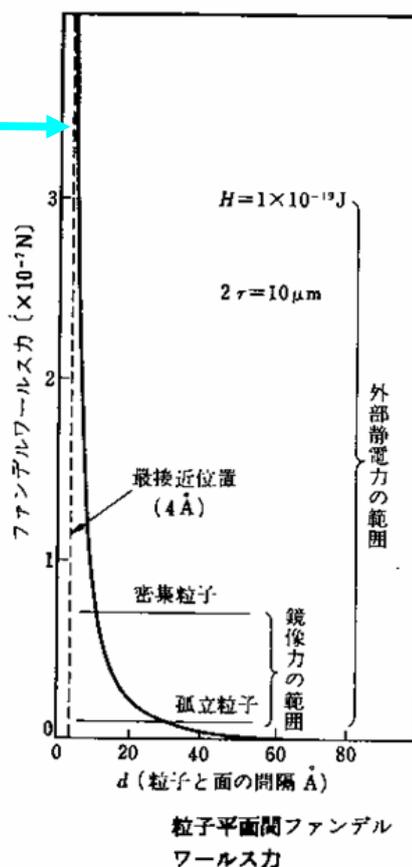
$z = 0.4 \text{ nm} = z_0$     A: Hamaker定数、 $\sim 10^{-20} \text{ J}$

粒子と平面に作用する力は、オングストロームオーダーまで接近すると急激に大きくなる。従って、これを引き離すには非常に大きな力が必要になる。

そこで、コピー機(カールソンプロセス)で球形トナーと感光体の表面では、感光体にあるトナー粒子を効率よく引きはがすために下図のように凹凸をつけることにより、ファン・デル・ワールス力を小さくする工夫がされている。



増田弘昭:電子写真学会誌、36 (1997) 169



電子写真学会編:電子写真技術の基礎と応用、p.466 (コロナ社、1988)

ファン・デル・ワールス力は二つの物体があると、その物体が帯電しているかどうかにかかわらず、必ず存在する(必ず引力になる)ことから。

窓ガラスや壁など、長時間にわたって観察するとごみの付着が進む。

平板と平板の場合、きよるの3乗、平板と球は二乗でよくこの力は、距離が非常に小さくなると急激に大きく効いてくる。このメカニズムで付着する物体をはがすことは容易でない。

\*コピー機の場合、感光体とトナーの付着はコピー品質に大きく影響する。現在は、トナーにはガラスの粉のような微粒子をまぶして、トナーが直接感光体に付着することを防ぎ、ファン・デル・ワールス力を少なくする工夫がなされているという。

\*真空状態 = ゴミがない

筑波の研究所の超高真空で、銅を割って、戻すと元のようにくっつく。

普通の環境下だと、銅の割れ面には酸素や空気が瞬時に付着し元のようにくっ付かない。

人工衛星の進む直後ろは高真空(マイナス10乗トール)。 真空蒸着できる。  
宇宙でも、宇宙塵が有るので真空中の加工には向かない。

### 1.2 液架橋力

水の表面は表面を小さくしようと働く。

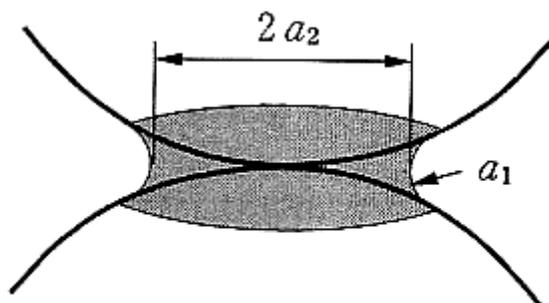


Fig.2 液架橋<sup>9)</sup>

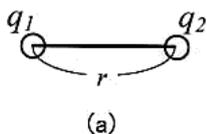
$$F_L = \pi a_2^2 \gamma \left( \frac{1}{a_1} - \frac{1}{a_2} \right) + 2\pi\gamma a_2$$

$\gamma$  : 表面張力

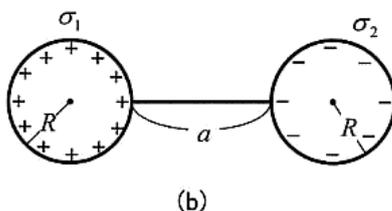
液と粒子表面の接触角 = 0 と仮定

ファン・デル・ワールス力 ( $z = 0.4 \text{ nm}$ ) より約 1 桁大きい

### 1.3 静電気力



(a) 点電荷



(b) 一様に帯電した球

Fig.3 クーロンの法則  
(a) 点電荷, (b) 一様に帯電した球

オリジナルはケンブリッジ大学の物理学者 キャーベンディッシュがメモに残している。  
距離の二乗に反比例し、電荷量の積に比例する事実を研究ノートにのこしているのを、  
電磁気の生みの親となるマックスウエルが見つけた。これはクーロンより50年早く見つけて  
いたことがわかった。電荷量は手で触ってしびれの程度から決めたという。

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

2) 電気映像力

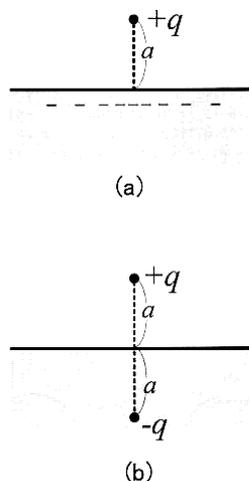


Fig.4 電気映像力  
(a) 導体表面に誘起される電荷, (b) 映像電荷

$$Q(x) = \frac{aq}{2\pi(a^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

導体の時

$$F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0(2a)^2}$$

誘電体

$$F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0(2a)^2} \left( \frac{\epsilon_0 - \epsilon}{\epsilon_0 + \epsilon} \right)$$

3) グレーディエント力 分極力

$$F = 2\pi\epsilon_0 \frac{\epsilon_r - 2}{\epsilon_r + 2} a^3 \text{ grad } E^2$$

E2 の大きくなる方向に作用  
クーロン力よりかなり弱い

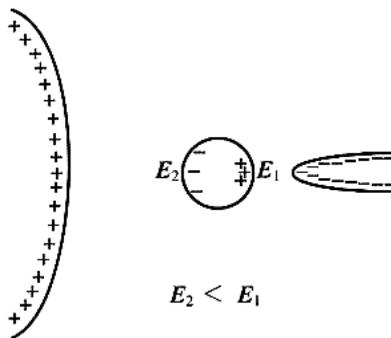


Fig.5 グレーディエント力

(以下省略)

- 4) 配向力一分極力Ⅱ
- 5) じゅず玉形成力一分極力Ⅲ
- 6) ジョンセン-ラーベック力一分極力Ⅳ
- 7) 接触電位差による力

1.5 付着限界粒径 (一般的な話)

天井にハエは止まれる、猫は止まらない。

地球上で見られる現象、付着力より重力が小さければ付着する。

一般的な粒子は 1~20 ミクロンぐらいが限界になる。

これぐらいの大きさの粒子が扱うのに一番鬱陶しい。

$$\alpha = \frac{F}{W} = \frac{6F}{\pi\rho d^3}$$

見掛けの付着性

$$d_c = \sqrt[3]{\frac{6F}{\pi\rho}} \quad d_c = 1 \sim 20 \mu\text{m}$$

付着限界粒径

2. 粒子の付着力に関する最近の話題

トナーの付着力ー測定値/計算値

測定者	D (μm)	Q/M (μC/g)	F <sub>m</sub>	F <sub>c</sub>	F <sub>m</sub> /F <sub>c</sub>
M.H.Lee	20	5	800	17	47
M.H.Lee	20	10	2,000	68	29
M.H.Lee	20	30	4,000	610	7
M.Takeuchi	10	~ 0	50	~ 0	-
M.Takeuchi	10	12	300	6.6	45
K.Noguchi	10	5	43	1.2	36
K.Noguchi	10	8	55	4.6	12
K.Noguchi	10	16	140	12	12

遠心法

Dan A. Hays: J. Adhesion, 51 (1995) 41

付着力の理論計算値と実験地を比較すると、50倍もの大きさの違いがある。

\* 考えられる原因

- 粒子が複数の点でくっついている。
  - 電荷が極在する
  - 粒子が変形する
- 等がある。

原子間力顕微鏡、のような超精密測定器を用いて研究が進められており、一個のトナーの粒子のどこが帯電しているか……、コピー品質向上のために努力が続いている(リコー、キャノン)。

以上

3) 次 回: 4月21日(月) 久米 健次 様  
13時30分 開始をお願いします。

4) 次々回 5月26日(月)  
講師 生駒 篤一 様

6月以降は 3週目の 土、日、月、火 として運営することになった。

別件: 以下は、議事録ではありません

(1) テーマをご検討願えませんか(山本)

久米様 波のテーマをご検討いただく。

神田様 音・スピーカー・オーディオ等のテーマをご検討いただく。

(2) ユーテック見学が決まりました。

かねてより、見学を申し込んでおりました、ユーテック株式会社から連絡があり、下記日程で見学会を開催します。

開催日時:

4/7(月) 午後 14 時～15 時。

訪問先:

ユーテック株式会社

R&D 事業本部 システムソリューション開発本部

奈良技術センター

上田憲一所長

・3次元造型のデモ

・他

当日は、CIS で集まっておいただき ユーテック株式会社まで車で往復いたします。

所要時間約 30 分

見学会時間割

CIS 出発 13 時 30 分 ユーテック着 14 時

ユーテック見学 14 時～15 時

ユーテック発 15 時 15 分 CIS 着 15 時 45 分

休憩&歓談 15 時～17 時

以上