

# カーボンダストの重水素リテンション

北大工 吉田肇

## 1. 目的

## 2. 同時堆積カーボンダスト

- (1) 実験方法
- (2) 結果
- (3) まとめ

## 3. 模擬ディスラプションで作製したカーボンダスト

- (1) 実験方法
- (2) 結果
- (3) まとめ

## 4. 結論

# 1. 目的

---

---

ITERのプラズマ対向壁  
(CFC, W, Be)  炉内にダストと  
なって堆積

カーボンダストが多量のトリチウムを保持



安全性評価のため、水素保持量を評価

これまでの評価

$H/C \sim 0.4$  ← 黒鉛に重水素イオンを照射した時の飽和値

# <本研究>

## 2種類の模擬カーボンドアストを作製

	模擬試料の作製法	模擬事象
同時堆積 カーボンドアスト	炭素電極を用いた重 水素アーク放電	正常運転時
模擬ディスラプシ ョンで作製した カーボンドアスト	水素ガス下で、黒鉛に 電子ビームを照射	ディスラプション時



水素保持特性を評価（基板温度、水素ガス圧依存性）

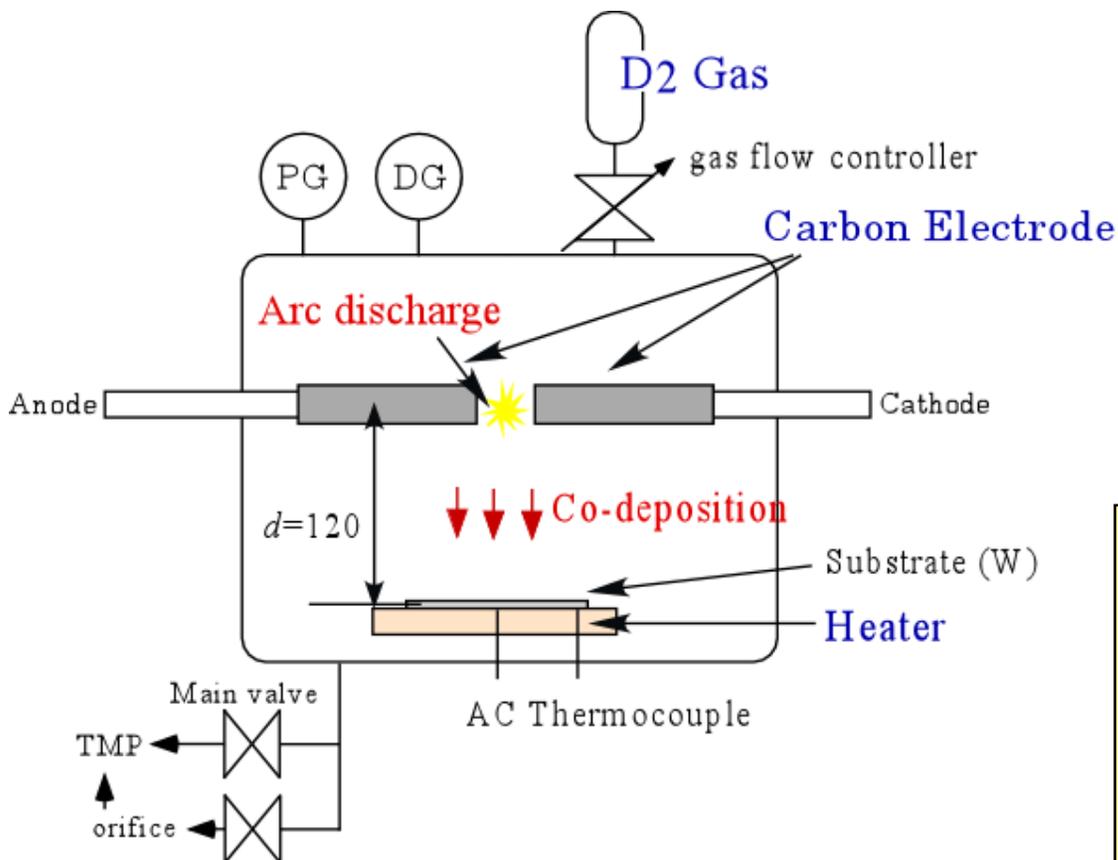
試料の特性評価（表面形態、結晶構造）

## 2. 同時堆積カーボンダスト

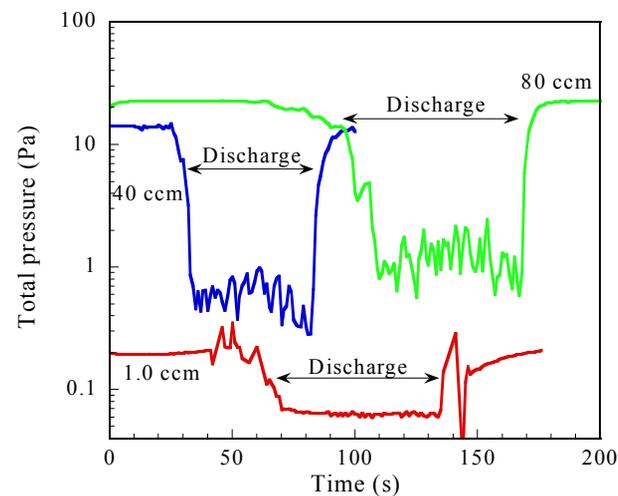
# (1) 実験方法

## ① 試料の作製

### 重水素アーク放電装置



### 放電中の全圧変化



放電中に全圧が減少

↓  
損耗した炭素と重水素が  
同時堆積

↓  
試料

# 試料の作製条件

※ ITERのダイバータ条件 1 Pa, 573 K程度

重水素流量 (ccm)	放電前圧力 (Pa)	放電中圧力 (Pa)	基板温度 (K)
80	22.5	1.3	RT
80	22.5	1.3	423
80	22.5	1.3	573
80	22.5	1.3	673
40	15.3	0.5	573
1.0	0.2	0.05	573

## ② 試料の評価

---

---

- 重水素保持量 → 昇温脱離分析 (TDS)

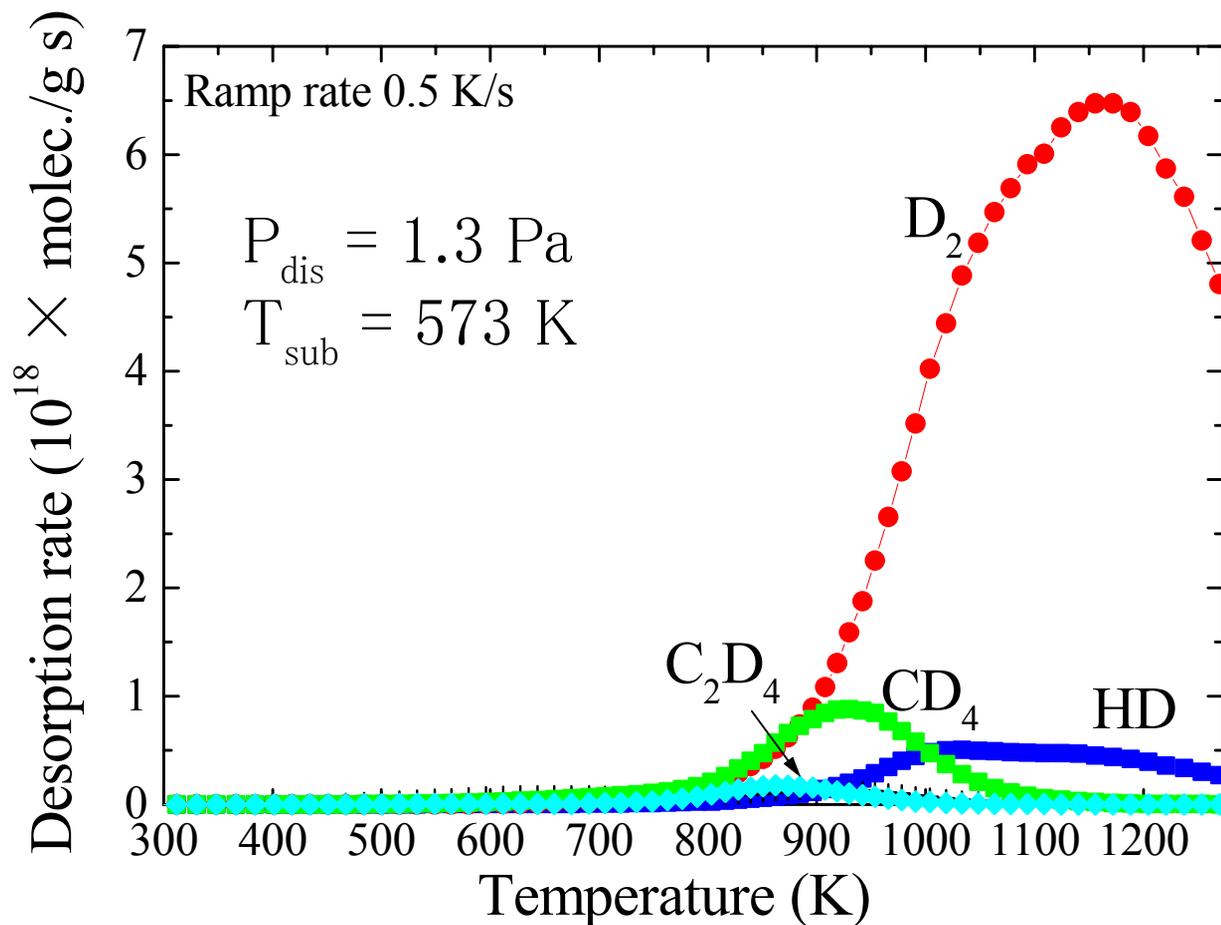


- 試料の特性評価

表面形態 → 走査型電子顕微鏡(SEM)

結晶構造 → ラマン分光分析

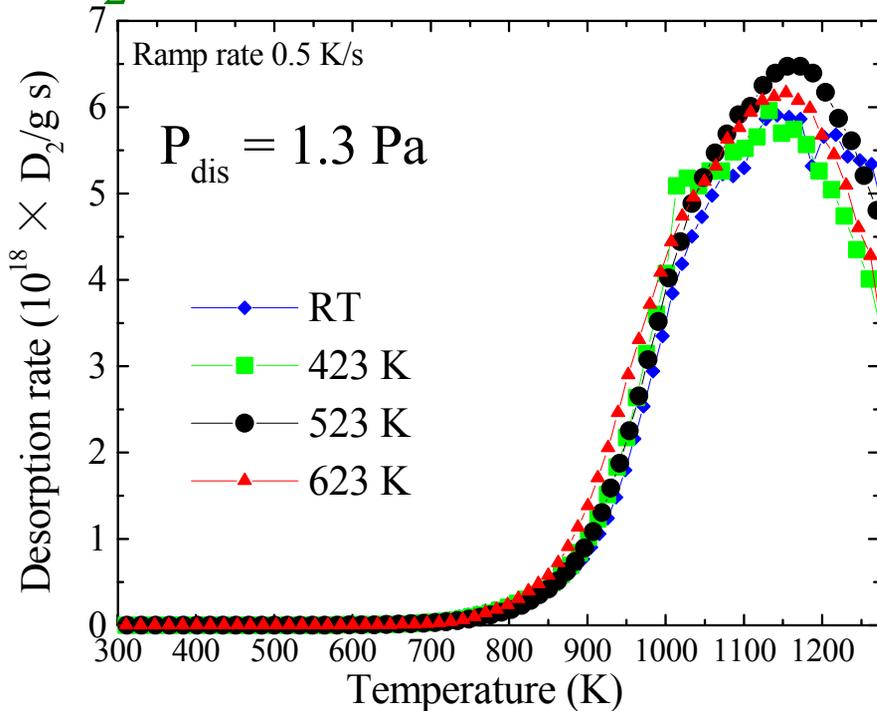
## (2) 結果 ① 昇温脱離スペクトルの一例



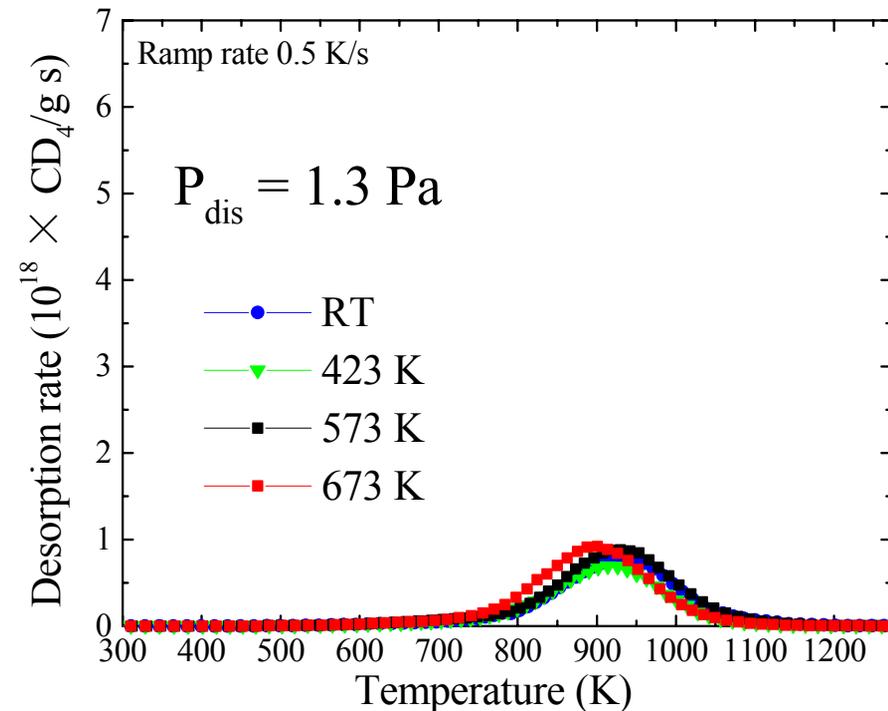
主に $\text{D}_2$ ,  $\text{HD}$ ,  $\text{CD}_4$ ,  $\text{C}_2\text{D}_4$ の形で脱離

## ② 昇温脱離スペクトルの基板温度存性

### $D_2$ の昇温脱離スペクトル



### $CD_4$ の昇温脱離スペクトル

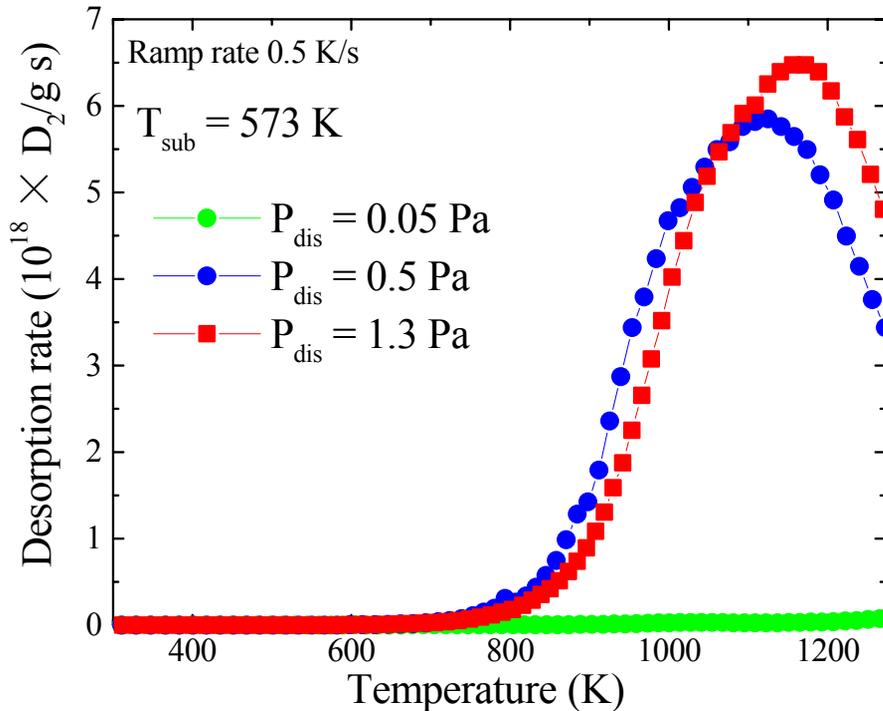


基板温度 大  $\rightarrow$  重水素保持量 同じ

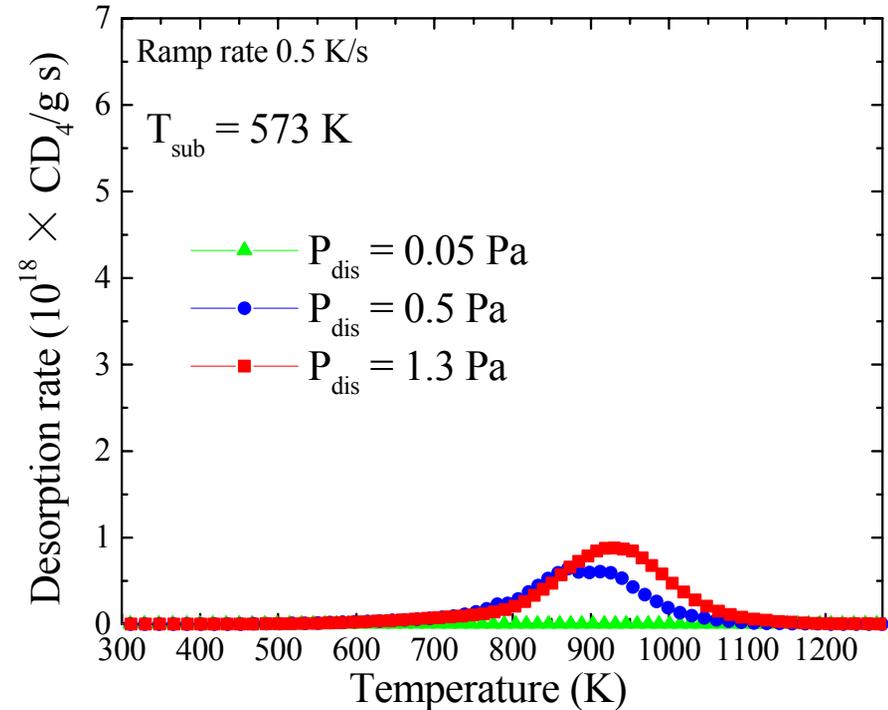
(※研究の進展により、今では基板温度依存性が得られています。  
2003/2/26)

# ③ 昇温脱離スペクトルの放電ガス圧依存性

## D<sub>2</sub>の昇温脱離スペクトル



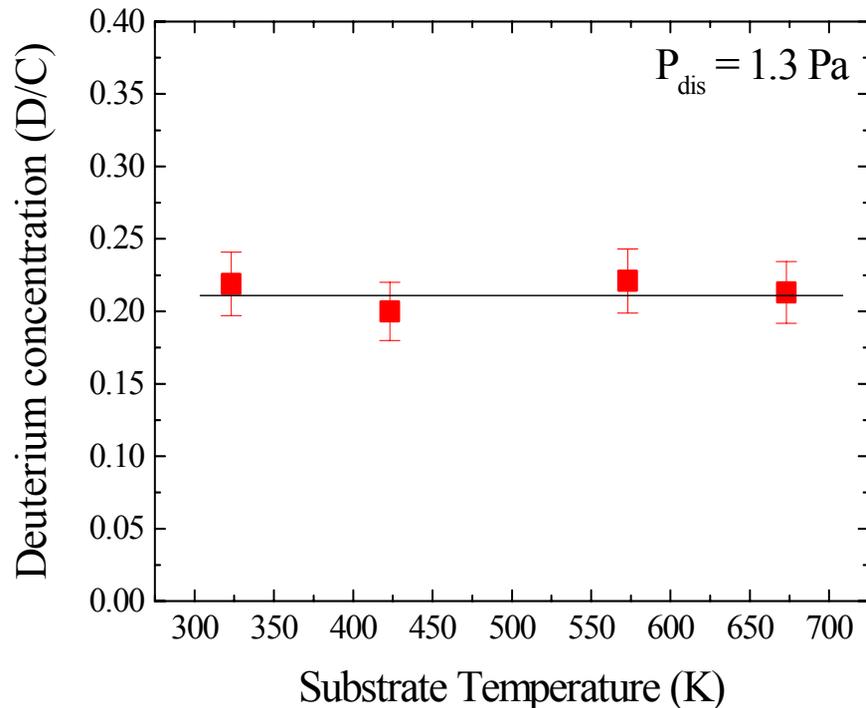
## CD<sub>4</sub>の昇温脱離スペクトル



放電中の重水素ガス圧大 → 重水素保持量大

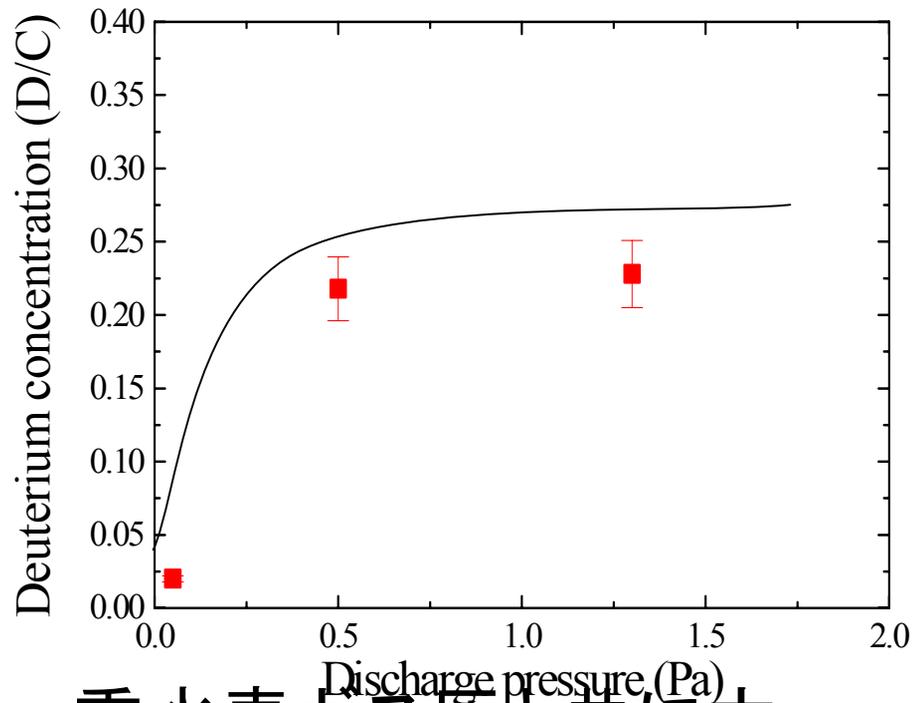
# ④ 同時堆積カーボンダストの重水素濃度

基板温度依存性 ( $P_{\text{dis}} = 1.3 \text{ Pa}$ )



基板温度に依存しない

重水素ガス圧依存性 ( $T_{\text{sub}} = 573 \text{ K}$ )



重水素ガス圧と共に大

ITERのダイバータ条件 (1.0 Pa, 573 K)

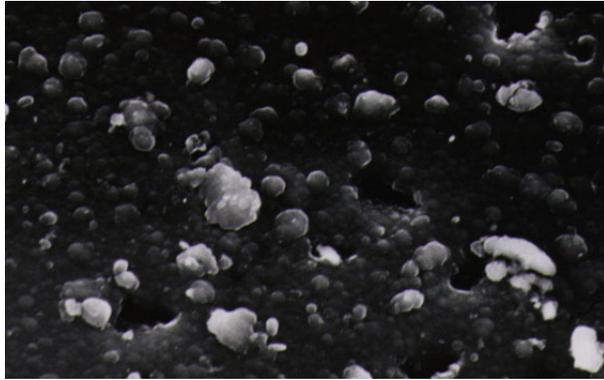
→ **D/C ~ 0.21**

(※研究の進展により、今では基板温度依存性が得られています。)

# ⑤ 同時堆積カーボンダストのSEM写真

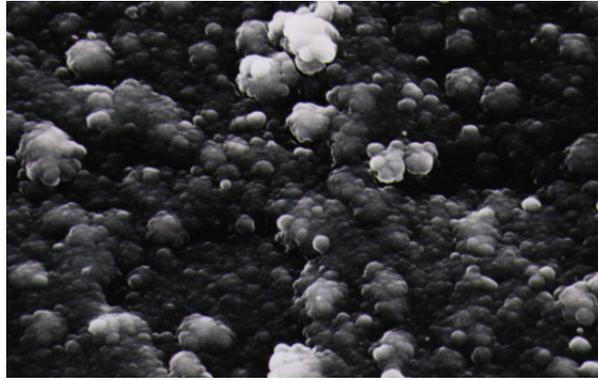
$P_{\text{dis}} = 1.3 \text{ Pa},$   
 $T_{\text{sub}} = 573 \text{ K}$

$5 \mu\text{m}$   
↔



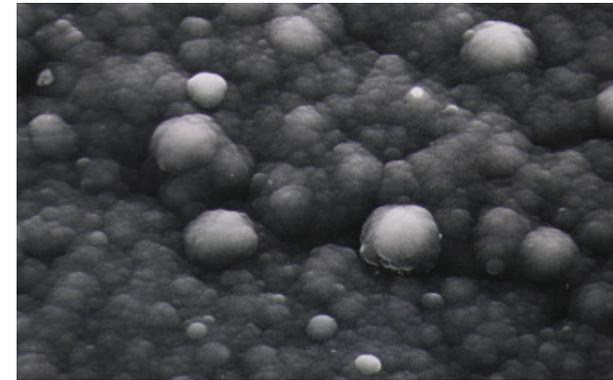
$P_{\text{dis}} = 1.3 \text{ Pa},$   
 $T_{\text{sub}} = 423 \text{ K}$

$5 \mu\text{m}$   
↔



$P_{\text{dis}} = 1.3 \text{ Pa},$   
 $T_{\text{sub}} = RT$

$5 \mu\text{m}$   
↔



$P_{\text{dis}} = 0.05 \text{ Pa},$   
 $T_{\text{sub}} = 573 \text{ K}$

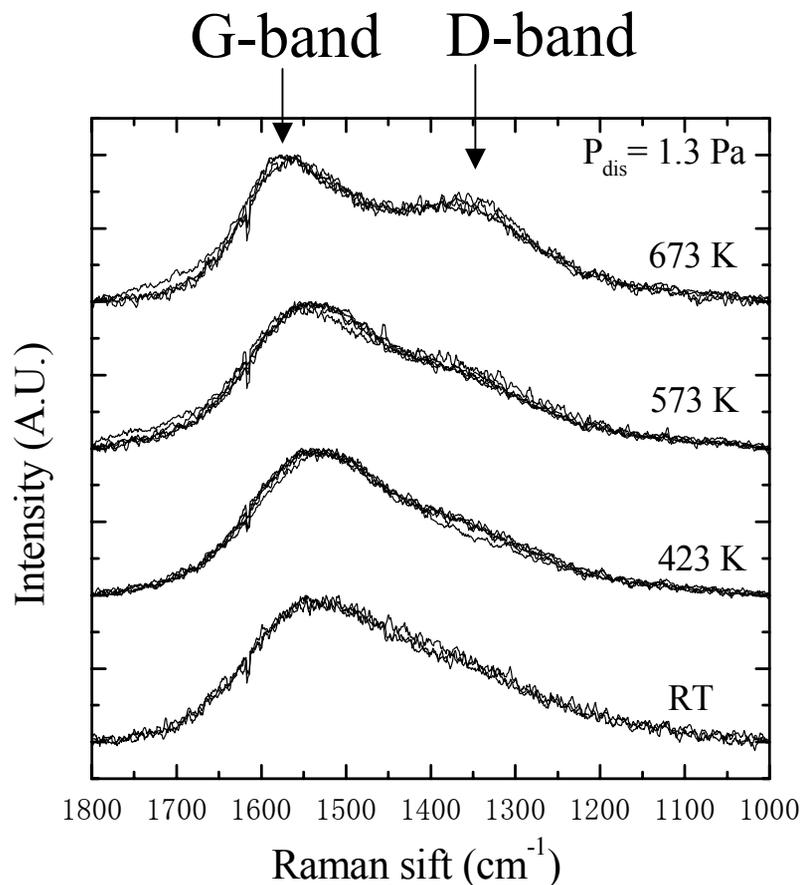
$5 \mu\text{m}$   
↔



いずれも微粒子の集合体

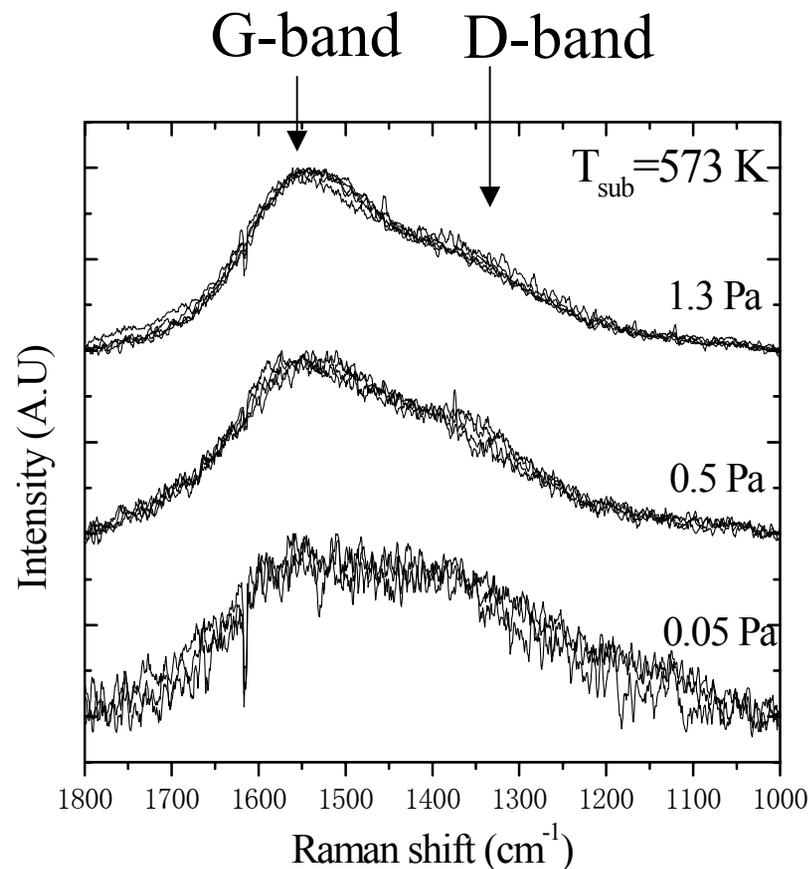
# ⑥ 同時堆積カーボンダストの ラマンスペクトル

## 基板温度依存性



基板温度 大  $\rightarrow$  黒鉛化

## 重水素ガス圧依存性



重水素ガス圧 大  
 $\rightarrow$  欠陥 小

# (3) まとめ

---

---

炭素電極を用いた重水素アーク放電

→ 同時堆積カーボンダスト試料を作製

## <重水素保持特性>

- ・基板温度依存性      なし
- ・重水素ガス圧依存性      重水素ガス圧と共に、重水素保持量 大

ITERダイバータ条件(1 Pa, 573 K) → D/C ~ 0.21

## <試料の特性>

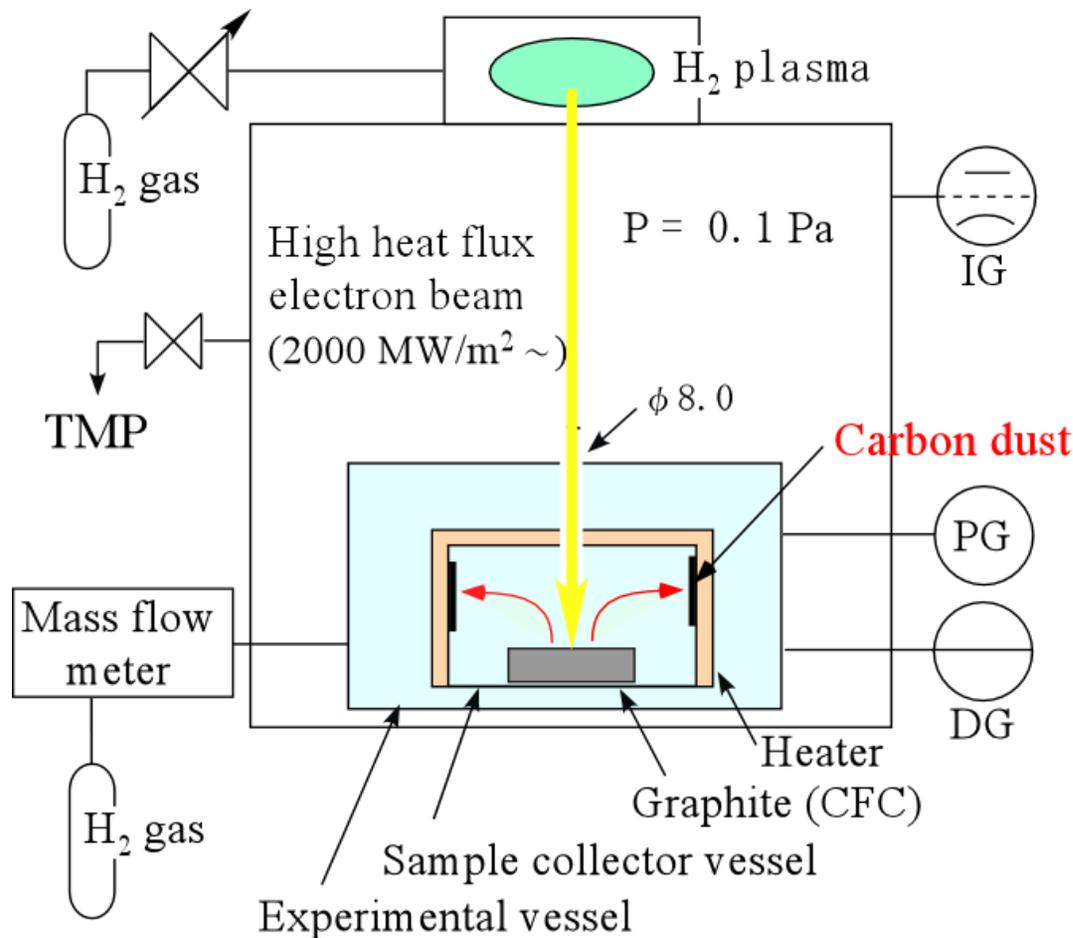
- ・表面形態      微粒子の集合
- ・結晶構造      アモルファス ~ グラファイト-ライク

### 3. 模擬ディスラプションで作製した カーボンダスト

# (1) 実験方法

## ① 試料の作製

### 高熱負荷電子ビーム照射装置



水素ガス下で黒鉛に  
電子ビームを照射

↓  
昇華、粒子飛散した黒鉛  
が、試料捕集容器に付着

↓  
試料

電子ビームの照射条件

熱負荷	> 2000 MW/m <sup>2</sup>
照射時間	1.0 ~ 2.0 ms
照射回数	100

# 試料の作製条件

---

---

※ ITERのダイバータ条件 1 Pa, 573 K程度

水素ガス圧 (Pa)	基板温度 (K)
1.0	RT
1.0	423
1.0	573
0.5	573
0.1	573

## ② 試料の評価

---

---

- 重水素保持量 → 昇温脱離分析 (TDS)

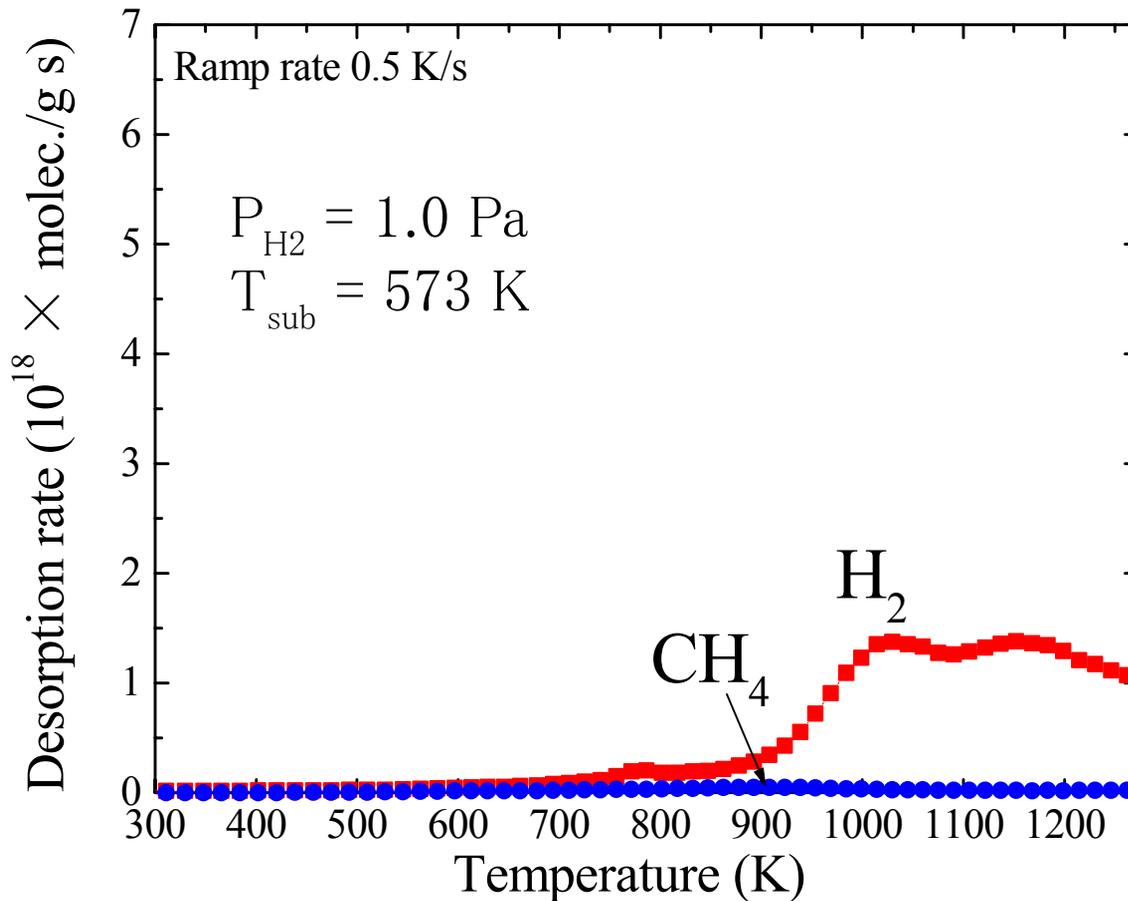


- 試料の特性評価

表面形態 → 走査型電子顕微鏡(SEM)

結晶構造 → ラマン分光分析

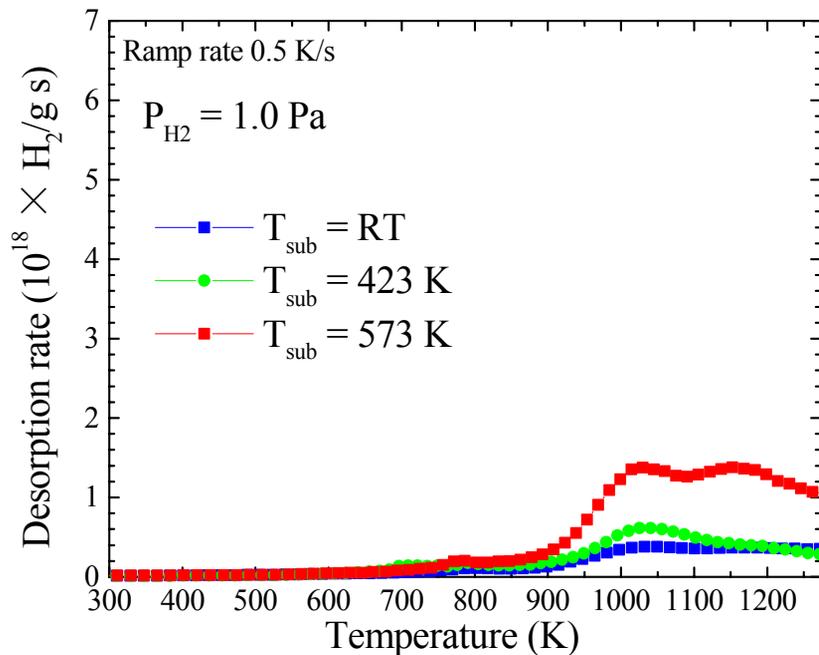
## (2) 結果 ① 昇温脱離スペクトルの一例



主に $\text{H}_2$ で脱離。 $\text{CH}_4$ の脱離は小さかった。

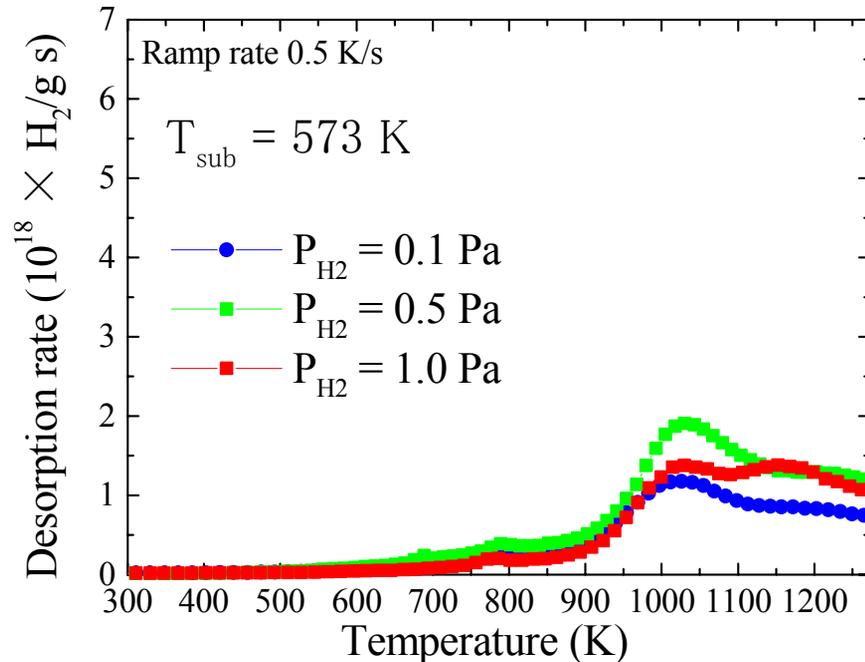
# ② 昇温脱離スペクトルの基板温度、水素ガス圧依存性

## 基板温度依存性



基板温度 大

## 水素ガス圧依存性

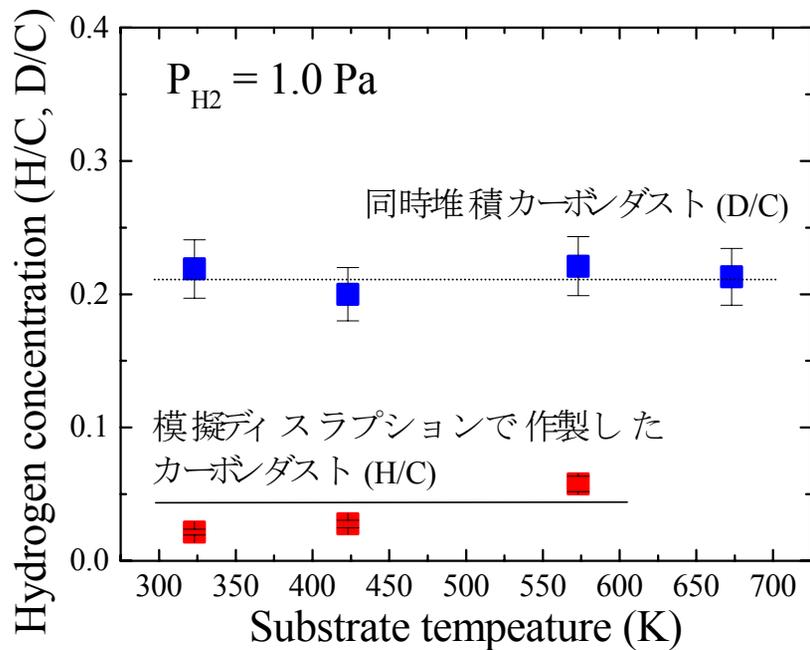


水素ガス圧 大

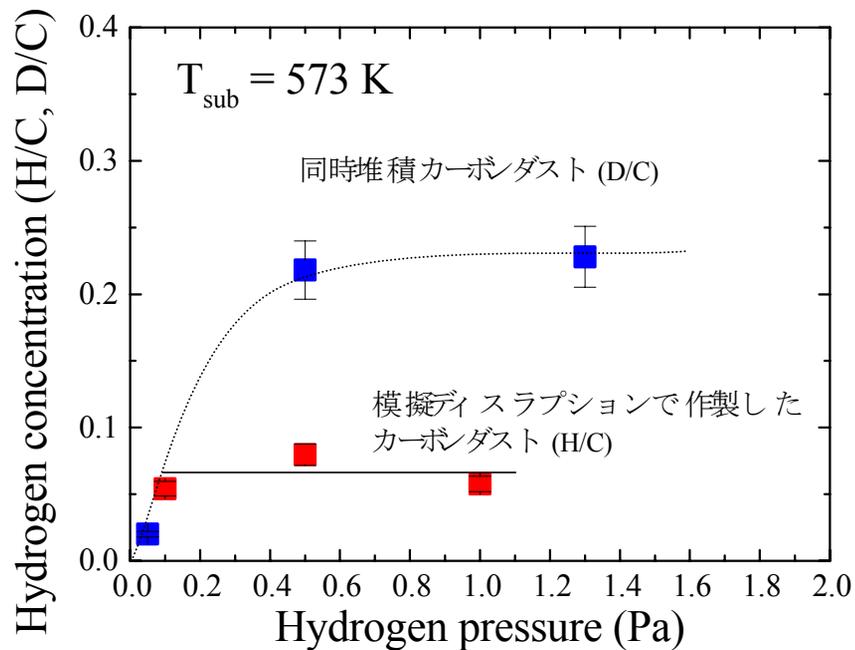
→ 水素保持量に顕著な差はない。

# ④ 模擬ディスラプションで作製した カーボンダストの水素濃度

基板温度依存性 ( $P_{H_2} = 1.0 \text{ Pa}$ )



重水素ガス圧依存性 ( $T_{\text{sub}} = 573 \text{ K}$ )



ITERのダイバータ条件 ( $1.0 \text{ Pa}, 573 \text{ K}$ )

→ **H/C ~ 0.06**

同時堆積カーボン  
ダストの約30%

# ⑤ 模擬ディスラプションで作製した カーボンドアストのSEM写真

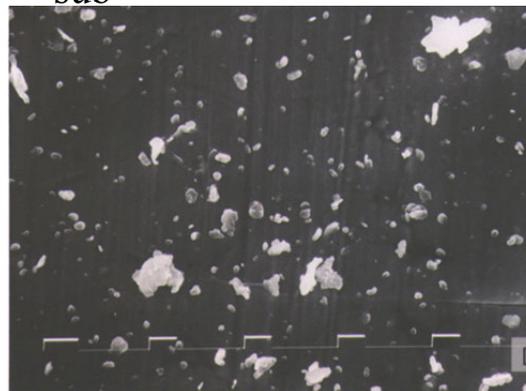
$P_{H_2} = 1.0 \text{ Pa},$   
 $T_{\text{sub}} = 573 \text{ K}$

$5 \mu\text{m}$



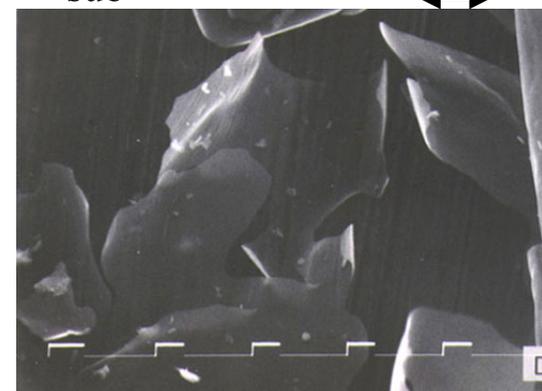
$P_{H_2} = 1.0 \text{ Pa},$   
 $T_{\text{sub}} = 423 \text{ K}$

$5 \mu\text{m}$



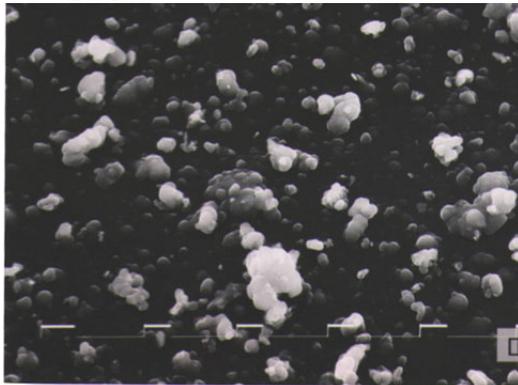
$P_{H_2} = 1.0 \text{ Pa},$   
 $T_{\text{sub}} = \text{RT}$

$5 \mu\text{m}$



$P_{H_2} = 0.1 \text{ Pa},$   
 $T_{\text{sub}} = 573 \text{ K}$

$5 \mu\text{m}$

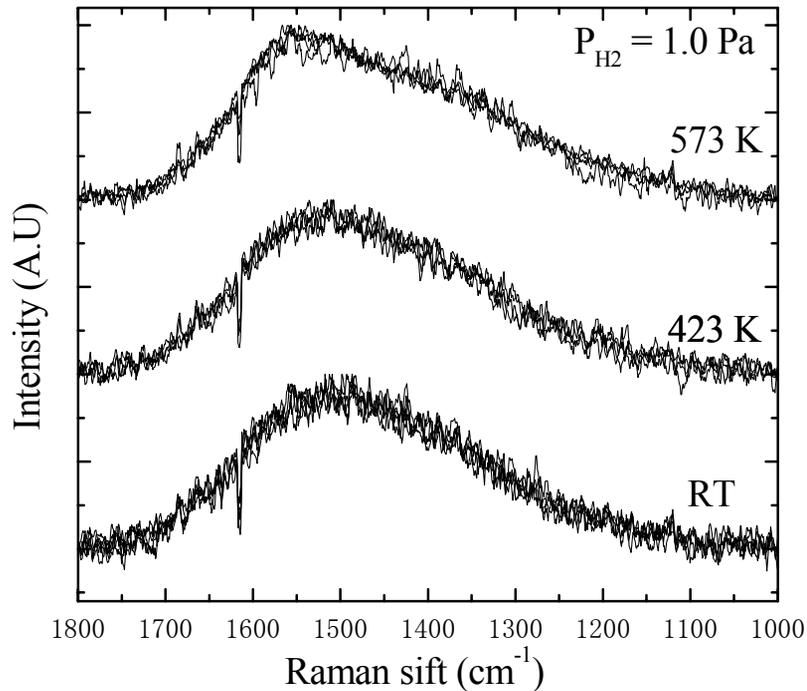


基板温度 大  $\rightarrow$  微粒子の密度 大

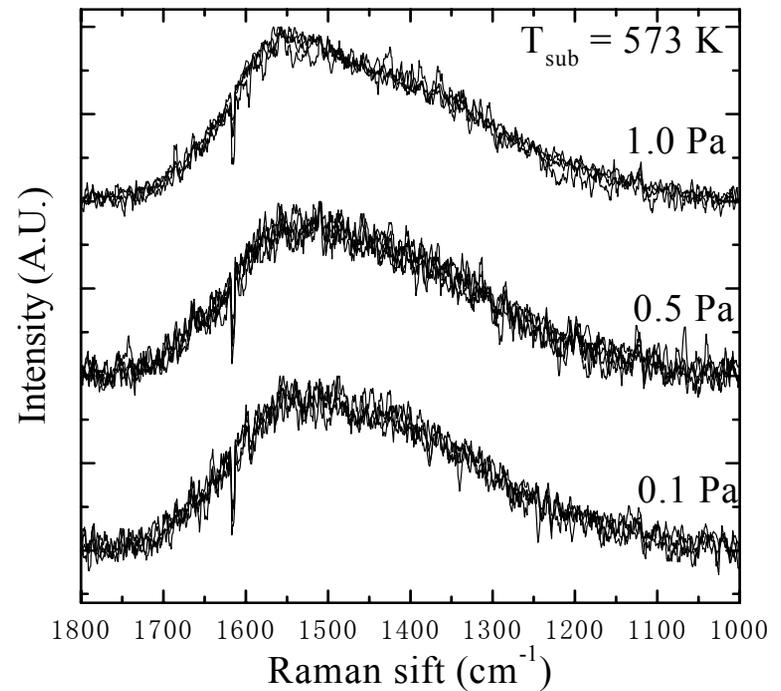
水素ガス圧 大  $\rightarrow$  微粒子サイズ 大

# ⑥ 模擬ディスラプションで作製した カーボンダストのラマンスペクトル

## 基板温度依存性



## 重水素ガス圧依存性



いずれもアモルファスで、顕著な差は見られない。

# (3) まとめ

---

---

水素ガス下で、黒鉛に電子ビームを照射

→ 模擬ディスラプションでカーボンダストを作製

## <重水素保持特性>

- ・基板温度依存性      なし
- ・重水素ガス圧依存性      なし

ITERダイバータ条件(1 Pa, 573 K) → H/C ~ 0.06

## <試料の特性>

- ・表面形態      おおむね微粒子の集合
- ・結晶構造      アモルファス

# 4. 結論

## カーボンダストの水素保持特性

	基板温度 依存性	水素ガス圧 依存性	水素濃度 ITERダイバータ 条件(1 Pa, 573 K)
同時堆積 カーボンダスト	なし	水素ガス圧 と共に大	D/C ~ 0.21
模擬ディスラプション で作製したカー ボンダスト	なし	なし	H/C ~ 0.06

※既存の評価 H/C ~ 0.4

# 黒鉛に重水素イオンを照射した時の

## 重水素保持特性

