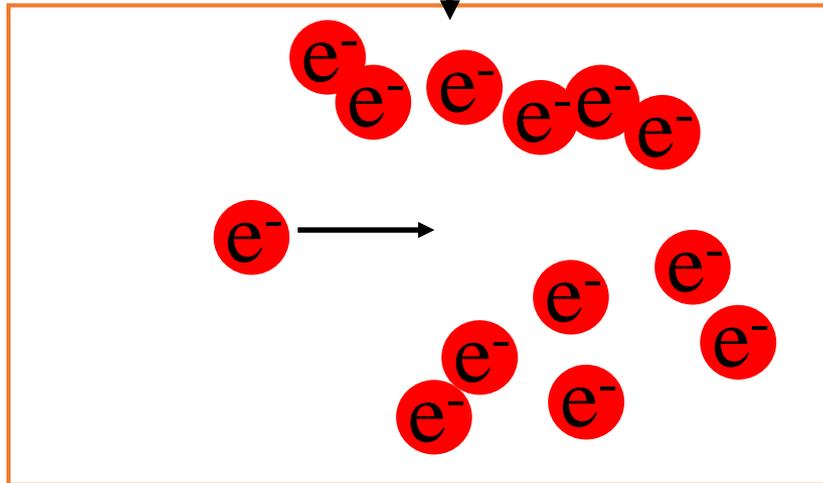
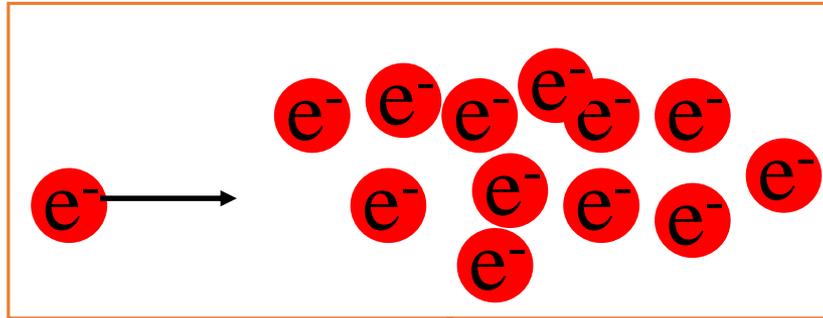


# ICRU Report 90の密度効果 パラメータの使用について (Short talk)

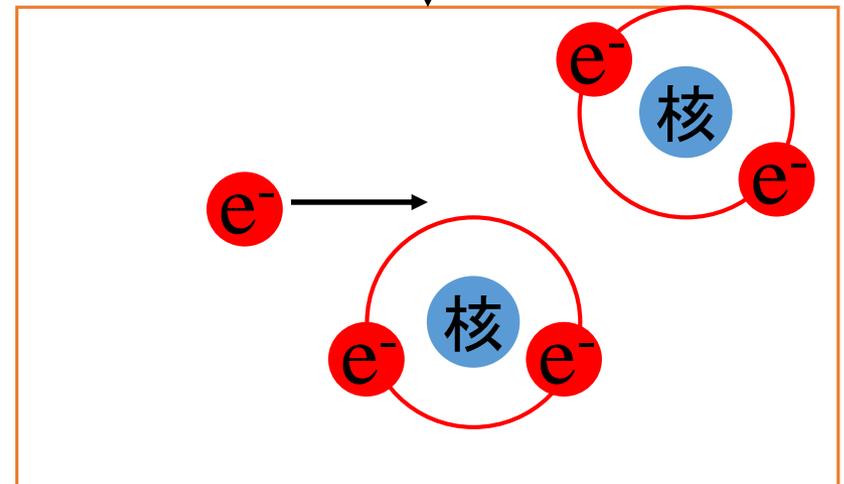
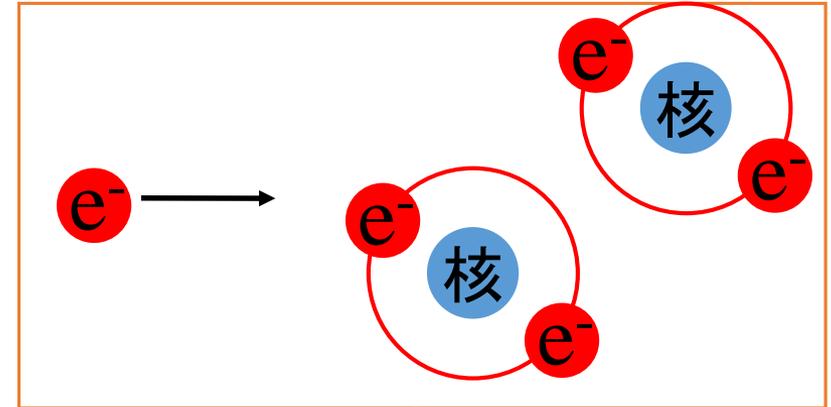
KEK 波戸 芳仁, 平山 英夫, AIST 清水 森人

# 密度効果

入射電子のため物質が分極し、衝突阻止能が減少

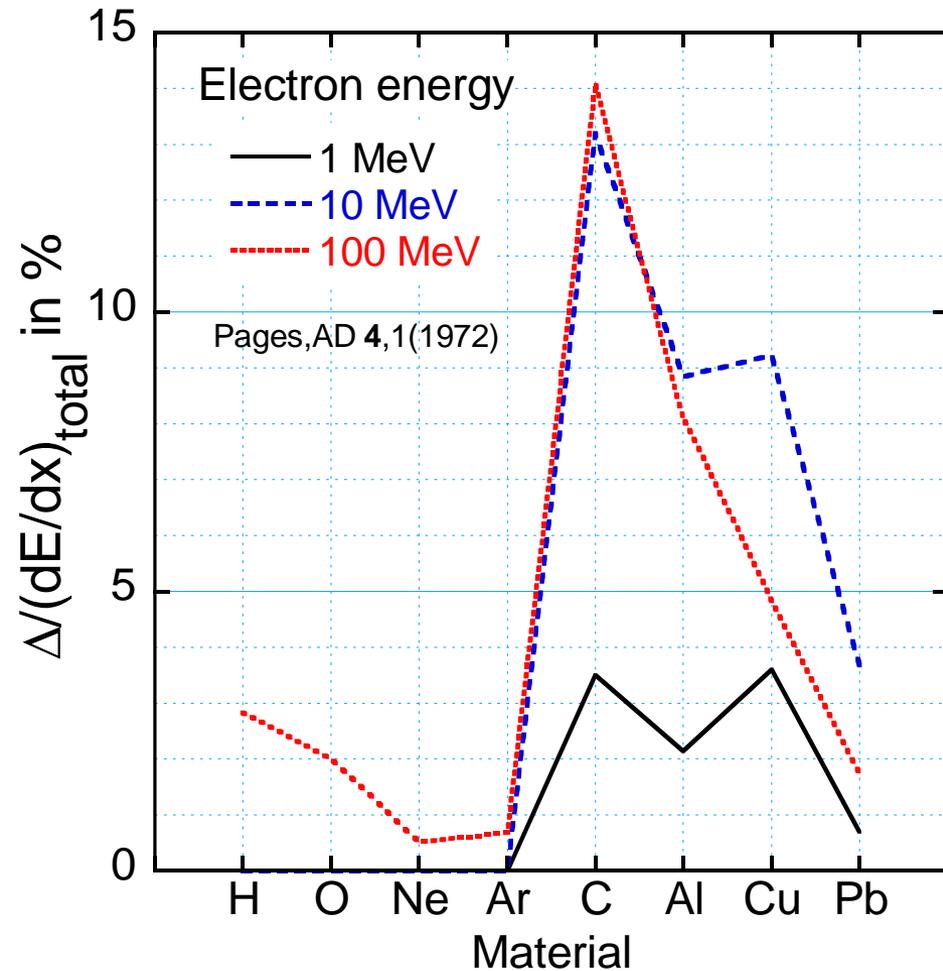
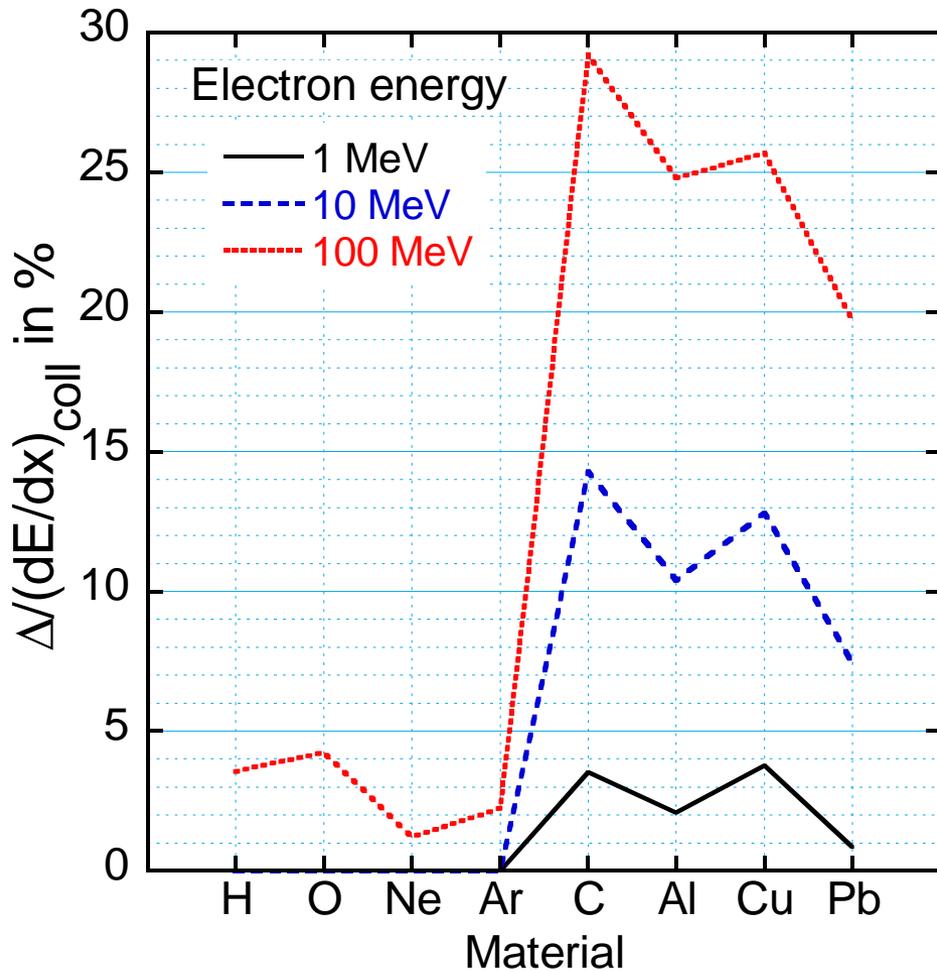


導体での大きな分極 (ex. 黒鉛)



希ガスでの小さな分極 (ex. アルゴン)

# 密度効果と阻止能の比



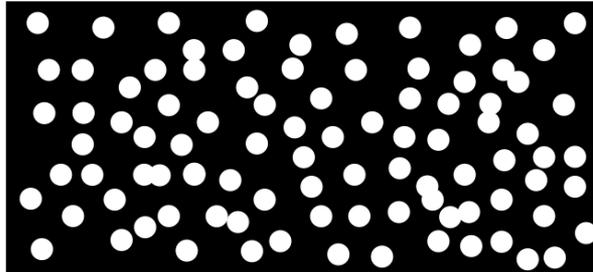
# egs5での密度効果

- Berger, Seltzer, and Sternheimer
  - 278 物質のパラメータを内蔵
- Sternheimer and Peierls
  - 一般的扱い
    - 正確さは少し劣る。(全阻止能誤差<2%)
    - $Z$  と  $\rho$  のみを用いる。

グラファイトは焼き物（陶器と同じ）



多孔質材料



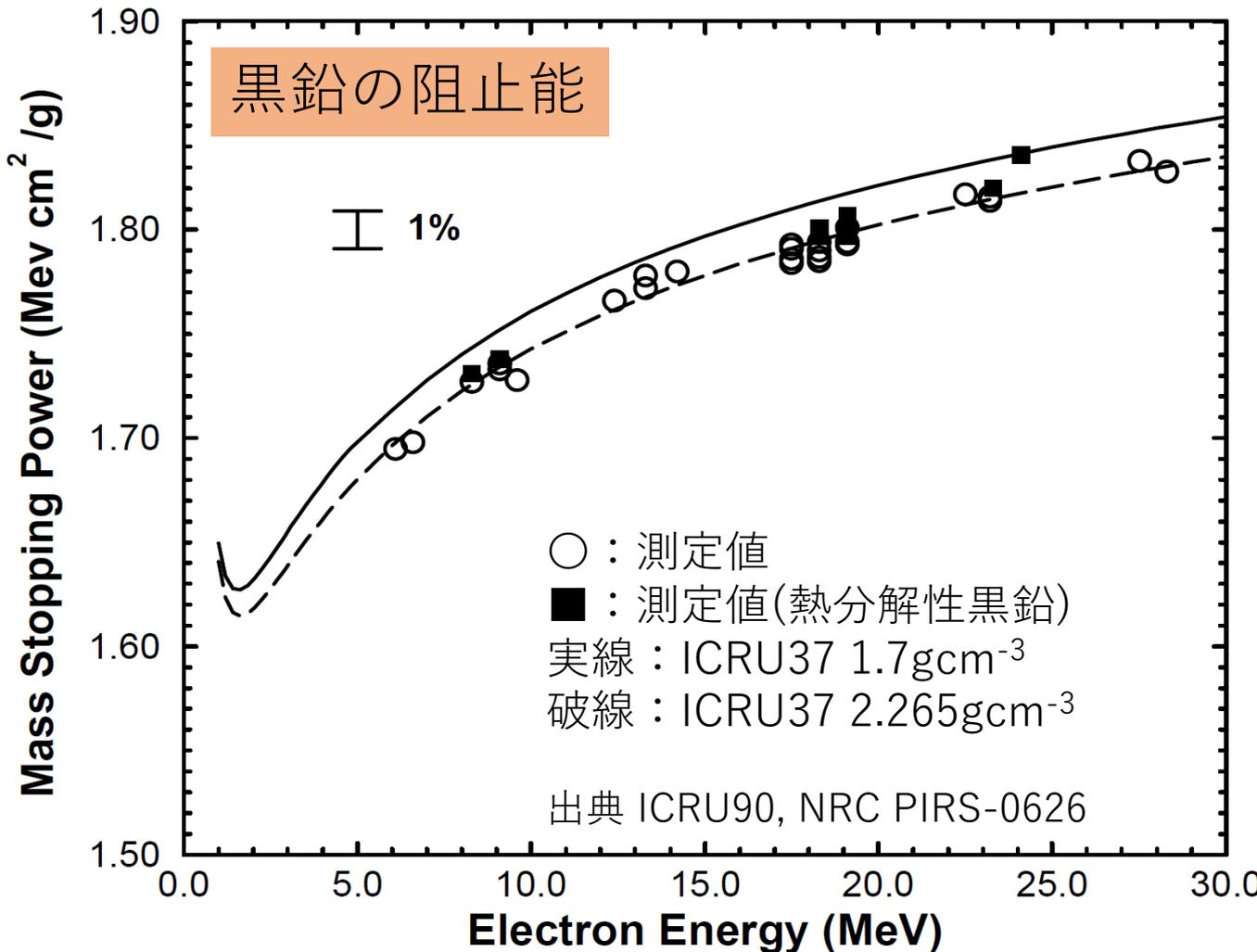
観測されるのは平均的な阻止能だが、原子との衝突現象は結晶部分でのみ発生する。密度効果は結晶部分の密度で計算しないと不整合が発生してしまう。

質量衝突阻止能（阻止断面積）と阻止能とで計算に用いる密度の値を変えないといけない！



グラファイトの製造工程  
東洋炭素のホームページより引用

# ICRU Report 90の黒鉛の密度効果に関する記述(『』)



『嵩密度は1.8gcm<sup>-3</sup>を超えることが稀, 粒密度は2.265gcm<sup>-3</sup>』  
⇒実際の嵩密度を要確認

『2.265gcm<sup>-3</sup>を用いて密度効果を計算すると、実験値を良く再現』

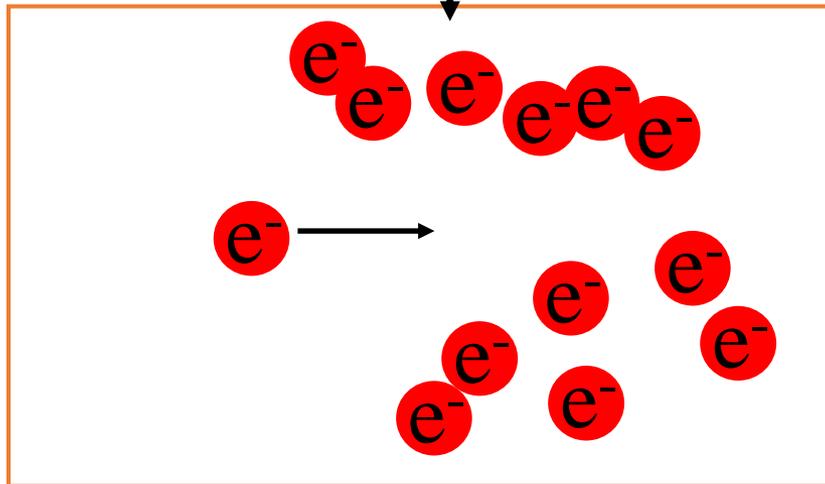
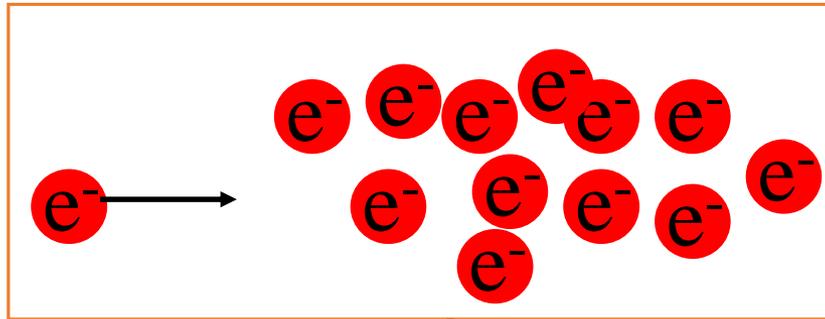
-----  
歴史的背景

-----  
ICRU37: 黒鉛など非均質物質の阻止能の問題提起.  
1.7gcm<sup>-3</sup>と2.265gcm<sup>-3</sup>の阻止能を掲載. 1.7gcm<sup>-3</sup>を推奨

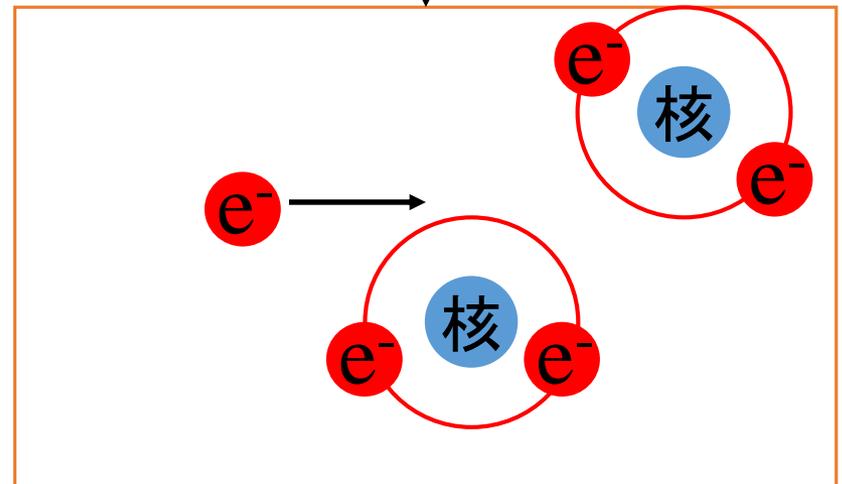
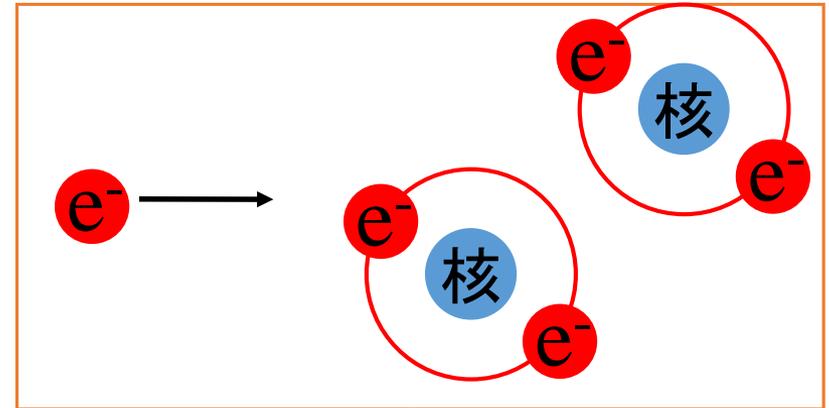
ICRU49: 1.7gcm<sup>-3</sup>と2.0gcm<sup>-3</sup>の炭素の阻止能を掲載

# 密度効果(気孔付き黒鉛)

『黒鉛内には結晶構造部分と気孔部分があり密度効果を引き起こす原子の偏極は、結晶構造黒鉛の誘電的な性質に関連する。黒鉛中の気孔は密度効果には関係しない』  
例. 体積比で熱分解黒鉛3と空気1を混合…嵩密度 $1.7\text{gcm}^{-3}$

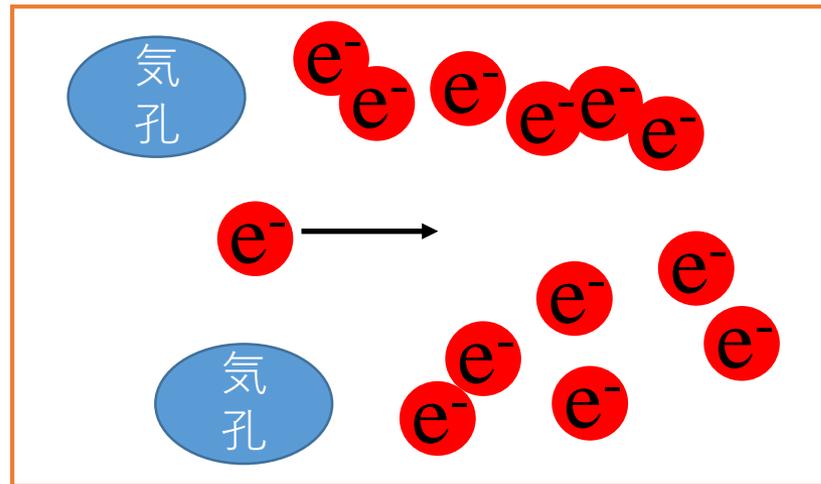
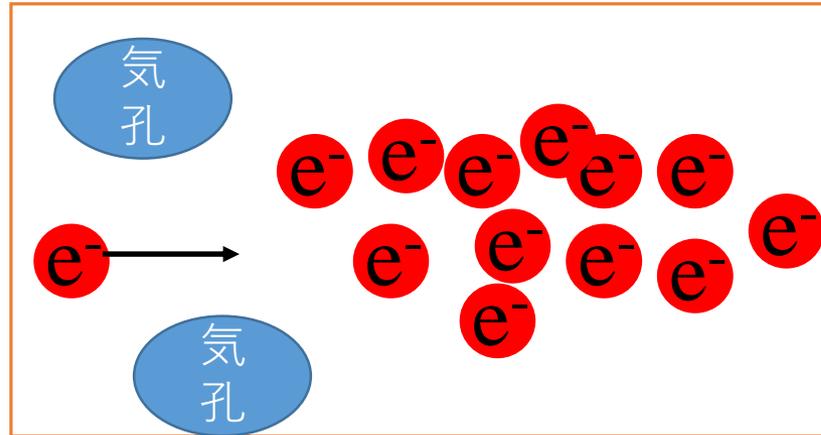


熱分解黒鉛  $2.265\text{gcm}^{-3}$



空気  $0.0012\text{gcm}^{-3}$

# 密度効果 (気孔付き黒鉛)



気孔付き黒鉛

# EGS5でのICRU90密度効果使用法

- PEGS5入力

ELEM

&INP **RHO=2.265**, EPSTFL=1 &END

graphite\_icru90

- EPSTAR file(密度効果データ)

graphite\_icru90

49 81.0 **2.265** 1 6 1.000

- 結晶密度 両者の差<1%

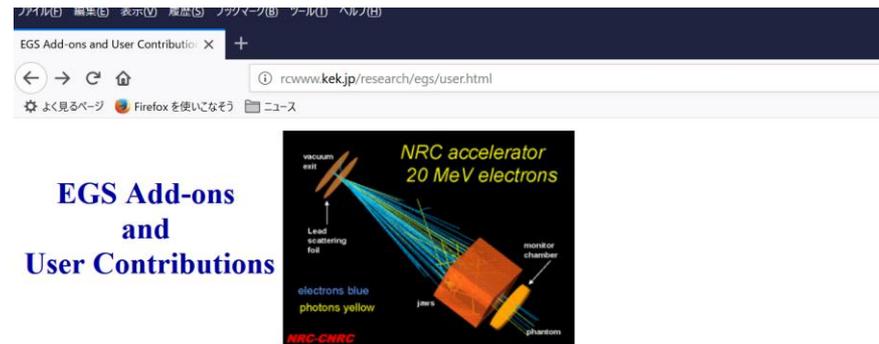
- 産総研・清水氏作成.

- EGS-HPからダウンロード可能(Add-on集にリンク済み)

- ユーザーコード内領域毎密度指定：嵩密度

**RHOR()=1.85**

- HATCH CALLの前で指定



## Add-ons

- [LSCAT](#) -- Low Energy Photon Treatments (KEK)
- [MARS](#) -- Multiple-Array System using Combinatorial Geometry (KEK)
- [PHOTX](#) -- Photon cross section data for PEGS4 (KEK)
- [Revised Sternheimer Density Effect Coefficients for PEGS4](#). (KEK)
- [Combinatorial Geometry \(CG\)](#) -- Contributed by T.Torii (JAEA) and T.Sugita (SSL) [\*EGS5]
- [Electron transport in electric and magnetic field](#) -- Contributed by T.Torii (JAEA) and T.Sugita (SSL) [\*EGS5]
- [EGS5-MPI](#) -- Contributed by M.Shimizu (AIST) [\*EGS5]
- [Double precision random number](#)
- [ICRU90 density effect parameters](#) -- Contributed by M.Shimizu (AIST) [\*EGS5]
- [EGS Activity at KEK Web Page](#). (KEK)

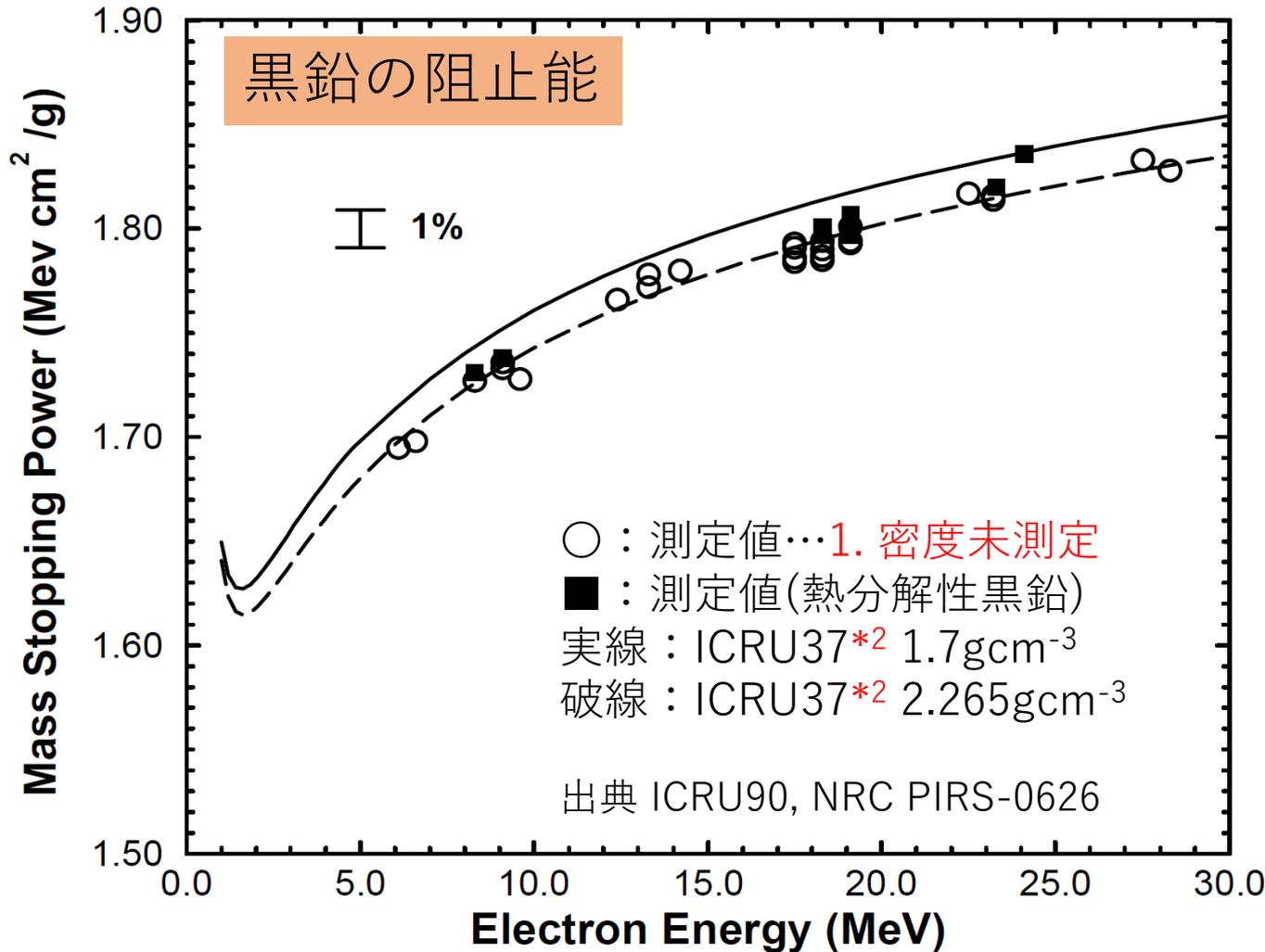
阻止断面積を計算するベーテブロッホの式で確認

$$\frac{S_{\text{el}}}{\rho} = \frac{4\pi r_e^2 m_e c^2}{\beta^2} \frac{Z_T}{uA} Z_P^2 \left( \ln \frac{\omega_{\text{max}}}{I} - \frac{C}{Z} - \delta \right)$$

実際のグラファイトの密度で計算

密度効果は結晶部分の密度で計算

# ICRU Report 90の黒鉛の密度効果に関する記述の2つの問題点



『嵩密度は1.8gcm<sup>-3</sup>を超えることが稀, 粒密度は2.265gcm<sup>-3</sup>』

『2.265gcm<sup>-3</sup>を用いて密度効果を計算すると、実験値を良く再現』

\*2. ICRU37ではなく Sternheimer and Peirelsの密度効果補正が用いられていた。ICRU37との一致という主な結論は不変。

PIRS-0626-Corrigendum (2019)

# NRC PIRS-0626のサンプル情報

Element	Identifier	Diameter (cm)	Mass (g)	Mass Thickness (g cm <sup>-2</sup> )
Beryllium	1	5.000	18.190	0.926
Beryllium	2	5.000	43.723	2.226
Graphite	3	5.052	9.849	0.4913
Graphite	6	5.052	19.972	0.9963
Graphite	9	5.053	29.990	1.496
Pyrolytic Graphite	1	5.004	21.513	1.094
Pyrolytic Graphite	2	4.992	10.813	0.5534
Pyrolytic Graphite	3	4.991	10.672	0.5455
Copper	13	5.050	18.418	0.9195
Copper	14	5.052	18.419	0.9189
Copper	15	5.052	18.409	0.9184
Tantalum	1	5.098	9.026	0.4422
Tantalum	2	5.100	8.973	0.4392
Tantalum	4	5.102	16.444	0.8049
Tantalum	5	5.102	16.291	0.7974
Tantalum	6	5.102	16.333	0.7989

- 厚さ、密度情報が欠落している

(もし実験の黒鉛が2.265gcm<sup>-3</sup>だったら、2.265gcm<sup>-3</sup>計算と一致するのは当然)

- 『2.265gcm<sup>-3</sup>を用いて、密度効果を計算すると、実験値を良く再現』

の有用性を理解するためには、この実験で使用された黒鉛サンプルについて、『高密度は1.8gcm<sup>-3</sup>を超えることが稀』という相場感を信じる必要がある。

PIRS-0626-Corrigendum  
その2の必要性あり。。

Table B.2: Thicknesses of elemental absorbers used in stopping power measurements.