

製品事故解析に必要な  
アルミニウム合金の引張強さとウェブ硬さ  
及びバーコル硬さとの関係について

九州支所

製品安全技術課 清水 寛治

# 説明内容

- ・目的
- ・アルミニウム合金の概要
- ・硬さの測定方法
- ・引張強さとビッカース硬さの関係
- ・ビッカース硬さとウェブ硬さ、バーコル硬さの関係
- ・引張強さとウェブ硬さ、バーコル硬さの関係
- ・効果と活用事例

# 1. 目的

(1) 製品破損の原因調査においては、使用された材料の強度を確認する必要があるが、事故品からは引張試験片を採取できないことが多く、代用特性として硬さで評価を行っている。しかしながら、アルミニウム合金は、硬さと引張強さとの相関について情報が少ない。

(2) アルミニウム合金の硬さ測定には、ビッカース硬さ又はブリネル硬さが用いられるが、試験片作成の制約からハンディタイプの試験機を使用するウェブ硬さ又はバーコル硬さが利用されている。

しかしながら、ウェブ硬さ及びバーコル硬さとビッカース硬さとの相関について情報が少ない。



これらの状況を踏まえ、市場から入手できるアルミニウム合金について、

- ① 引張強さとビッカース硬さとの相関
- ② ビッカース硬さとウェブ硬さ、バーコル硬さとの相関
- ③ 引張強さとウェブ硬さ、バーコル硬さとの相関

について調査した。

## 2. アルミニウム合金の概要

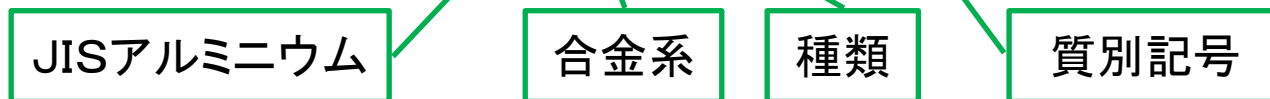
### (1) アルミニウム合金の特徴

- ・軽い 密度 $2.7\text{g/cm}^3$  (鉄 $7.8\text{g/cm}^3$ )
- ・強い 鉄鋼と同等品も有り
- ・耐食性が良い 塗装が不要
- ・加工性が良い 融点が低い、プレス加工が容易

### (2) アルミニウム合金の種類

- ・呼び方 国際的に統一されている

例: A2017-T3



A2024-T4  
A6061-T6  
A7075-T6  
etc

|          | 合金系   |             | 主な用途        |
|----------|-------|-------------|-------------|
| 純アルミニウム  | 1000系 |             | 熱交換器、電線     |
| アルミニウム合金 | 2000系 | Al-Cu-Mg系合金 | 航空機、スポーツ用品  |
|          | 3000系 | Al-Mn系合金    | 缶、屋根材       |
|          | 4000系 | Al-Si系合金    | エンジン部品      |
|          | 5000系 | Al-Mg系合金    | 鉄道車両、化学プラント |
|          | 6000系 | Al-Mg-Si系合金 | 脚立、サッシ      |
|          | 7000系 | Al-Zn-Mg系合金 | 鉄道車両        |

事故調査では、化学成分及び機械的性質から、合金番号を推定。

### 化学成分

| 合金番号 | Cu     | Si     | Mg      | Zn      | Fe    | Mn      | Ti        | Cr        | Al |
|------|--------|--------|---------|---------|-------|---------|-----------|-----------|----|
| 6063 | 0.10以下 | 0.35以下 | 1.0~1.8 | 4.0~5.0 | 0.4以下 | 0.2~0.7 | 0.01~0.06 | 0.06~0.20 | 残部 |

### 機械的性質

| 合金番号 | 質別 | 試験箇所<br>の厚さ<br>mm | 引張試験                      |                         |         |
|------|----|-------------------|---------------------------|-------------------------|---------|
|      |    |                   | 引張強さ<br>N/mm <sup>2</sup> | 耐力<br>N/mm <sup>2</sup> | 伸び<br>% |
| 2014 | T6 | 15以下              | 415以上                     | 365以上                   | 7以上     |

JISに硬さは規定  
されていない

# 3. 硬さの測定方法

## ビッカース硬さ計



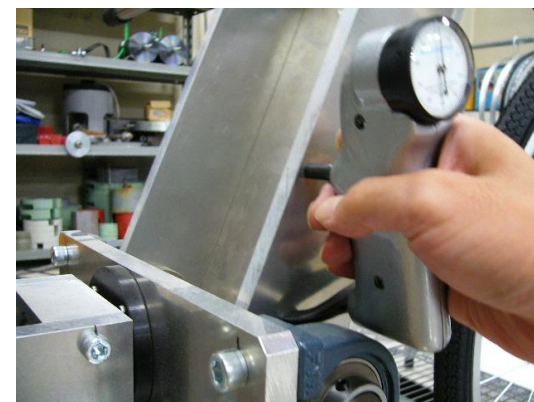
## 圧痕の面積

## ウェブ硬さ計



## 圧痕の深さ

## バーコル硬さ計



## 圧痕の深さ

\* FRPの硬さ測定方法としてJISに規定

# 4. 引張強さとビッカース硬さの関係

## (1) 知られている推定式

アルミニウム合金では、硬さから引張強さ(MPa)を推定する式として、

佐藤ら<sup>1)</sup>の $2.94 \times HV$  (HV:ビッカース硬さ) (6000系合金)

$3.13 \times HV$  (6000系以外)

中村ら<sup>2)</sup>の $3.02 \times HV$  (6000系合金)

アルミニウムハンドブック<sup>3)</sup>の $3.34HV$

の文献値がある。

1) 佐藤四郎、遠藤隆: 軽金属、36(1986)、29-35

2) 中村貴彦、安部晴彦、梅田孝彰、小松伸也: 軽金属学会第112回春期大会講演概要(2007)、279-280

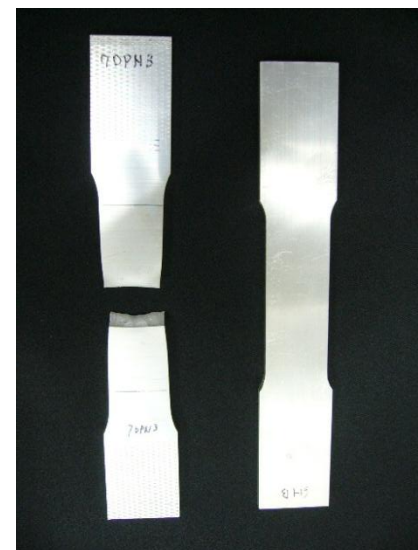
3) 一般社団法人 日本アルミニウム協会 アルミニウムハンドブック ー第7版ー、31

## (2) 試験方法

製造メーカー、ロットの異なるアルミニウム合金について、引張強さ及びビッカース硬さ(5回の平均)を測定した。

(鍛造品、鋳造品は含まれていない。)

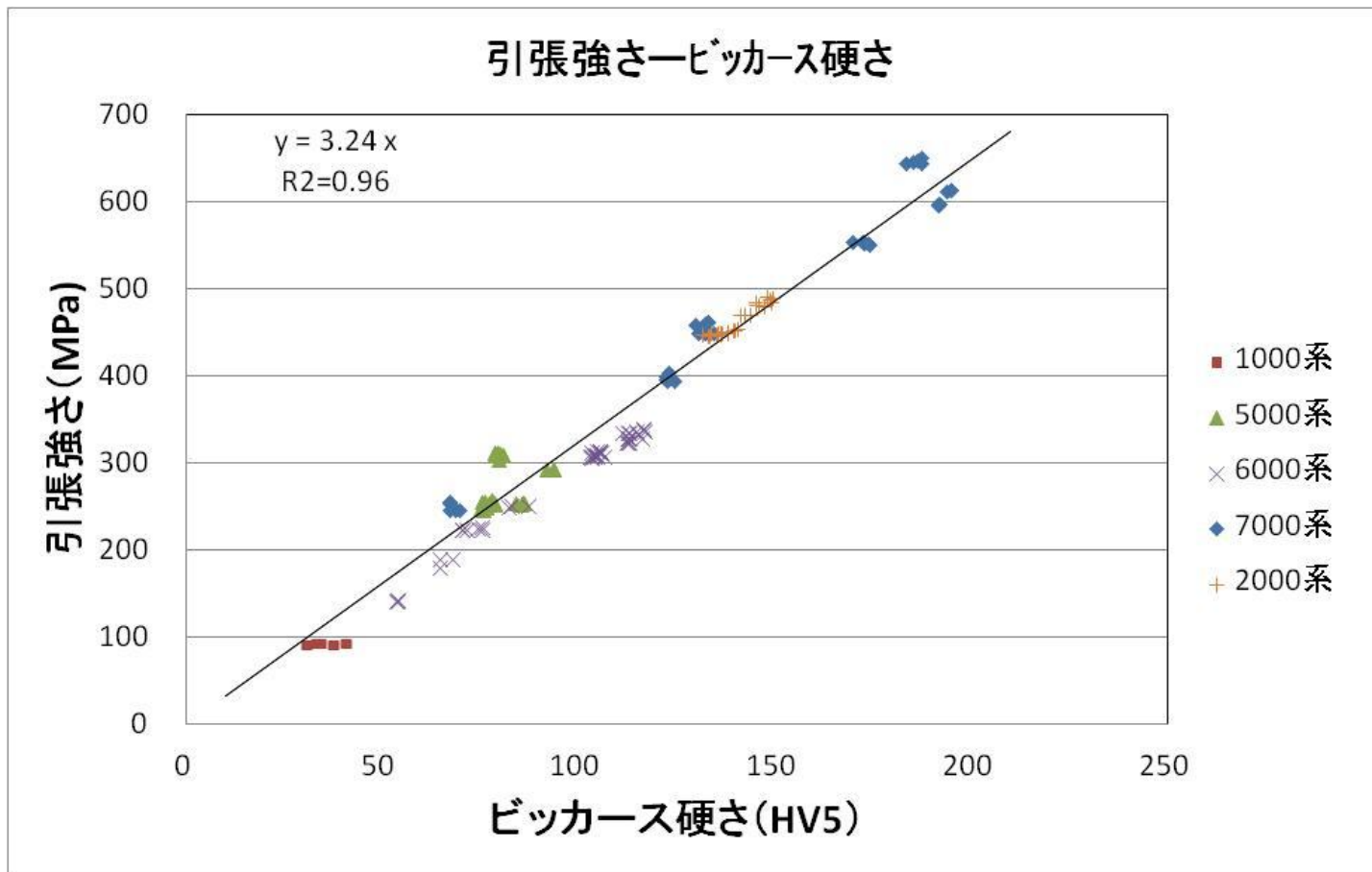
- A1070(押し出材)・・・5本
- A2017-T3(板材、押し出材)・・・28本
- A5052-H34(板材、押し出材)・・・20本
- A5083-O(板材)・・・12本
- A6061-T6(板材)・・・36本
- A6063-T5(板材、押し出材)・・・15本
- A7075-T6(板材)・・・17本
- A7N01-T6(板材、押し出材)・・・16本
- A7N01-O(板材)・・・6本



引張試験片



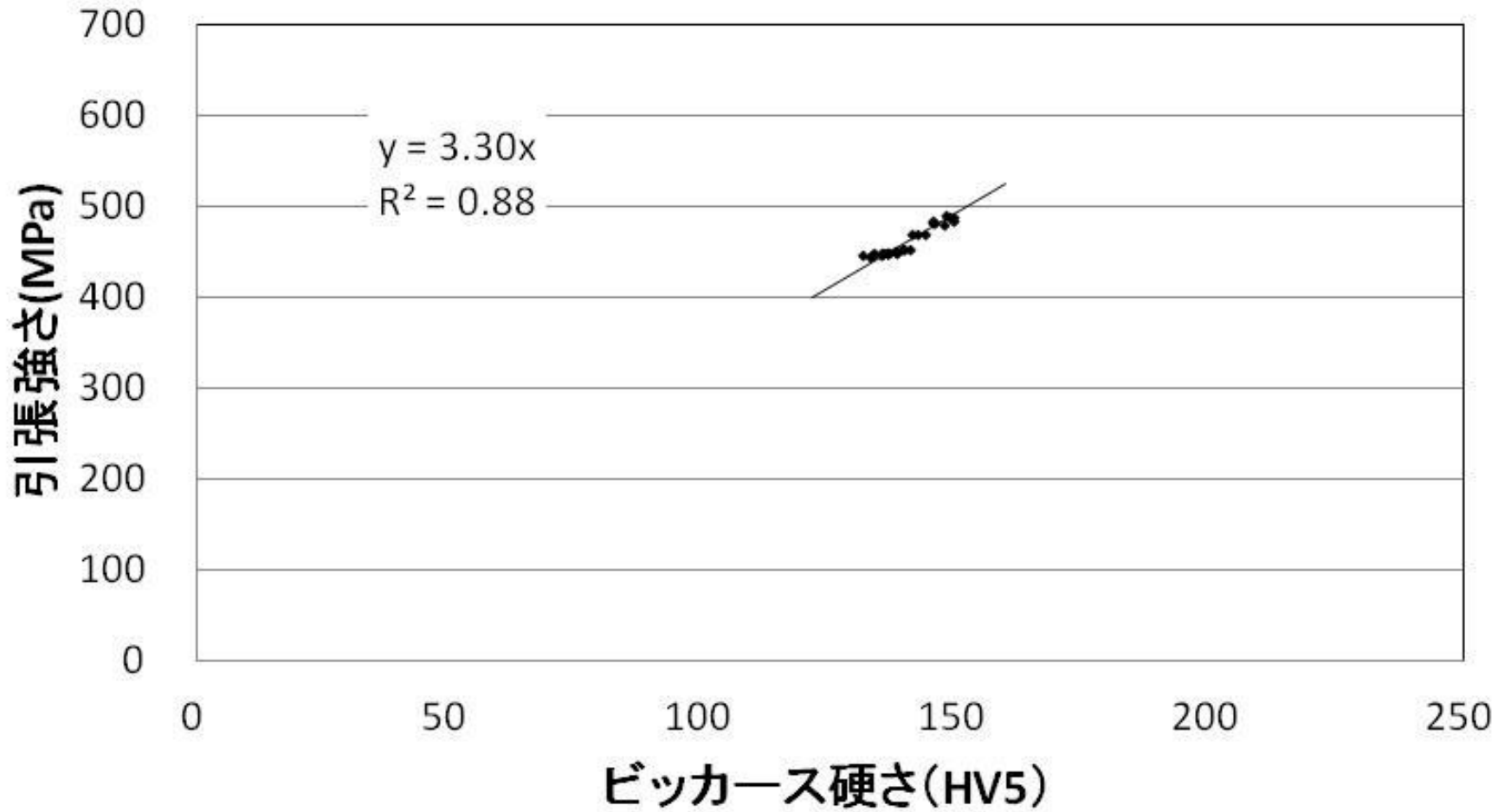
### (3) 試験結果



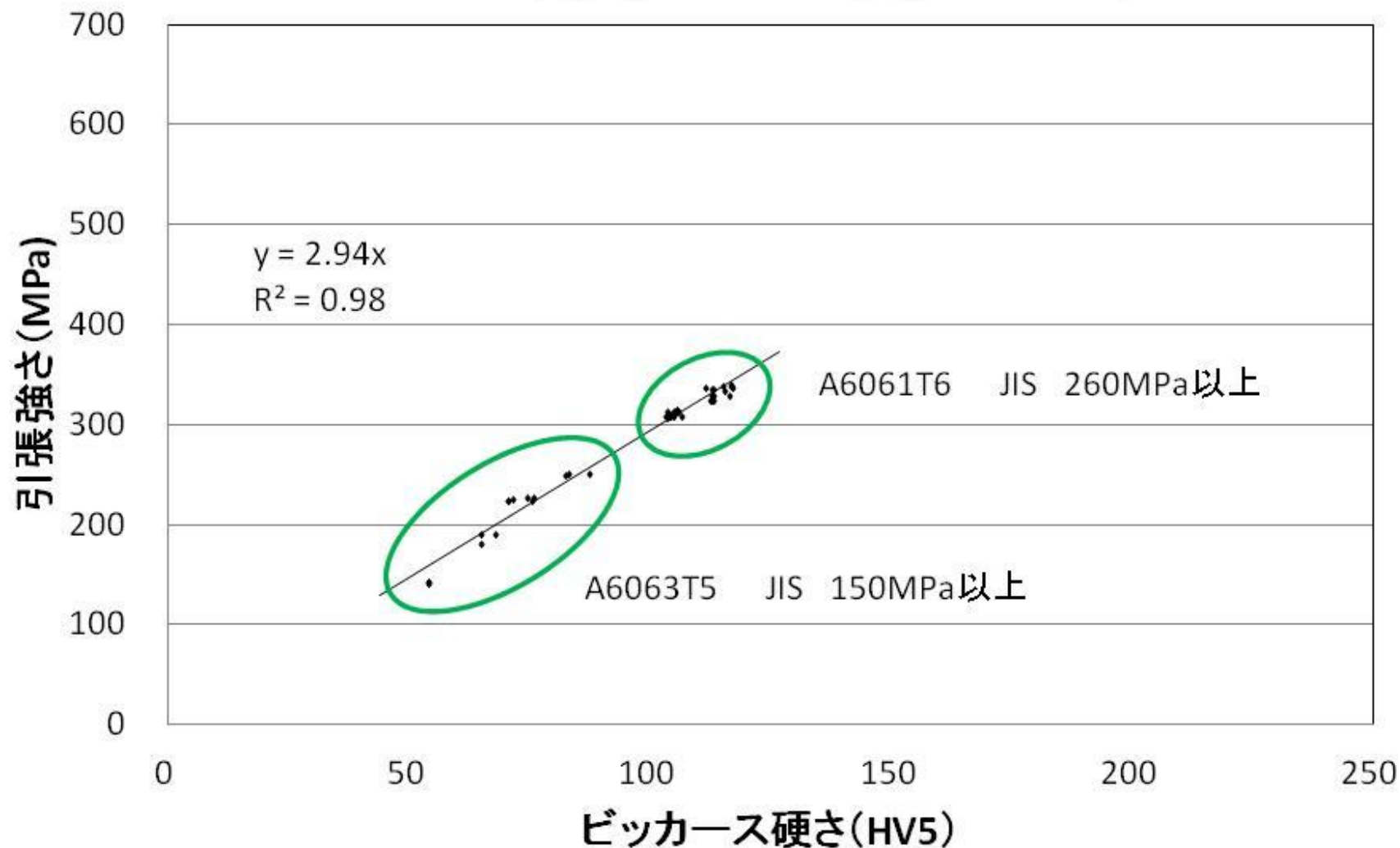
引張強さとビッカース硬さには強い相関があり、回帰式 $3.24 \times HV$ が得られた。しかし、ばらつきが $\pm 30MPa$ 程度ある。

# 引張強さービッカース硬さ

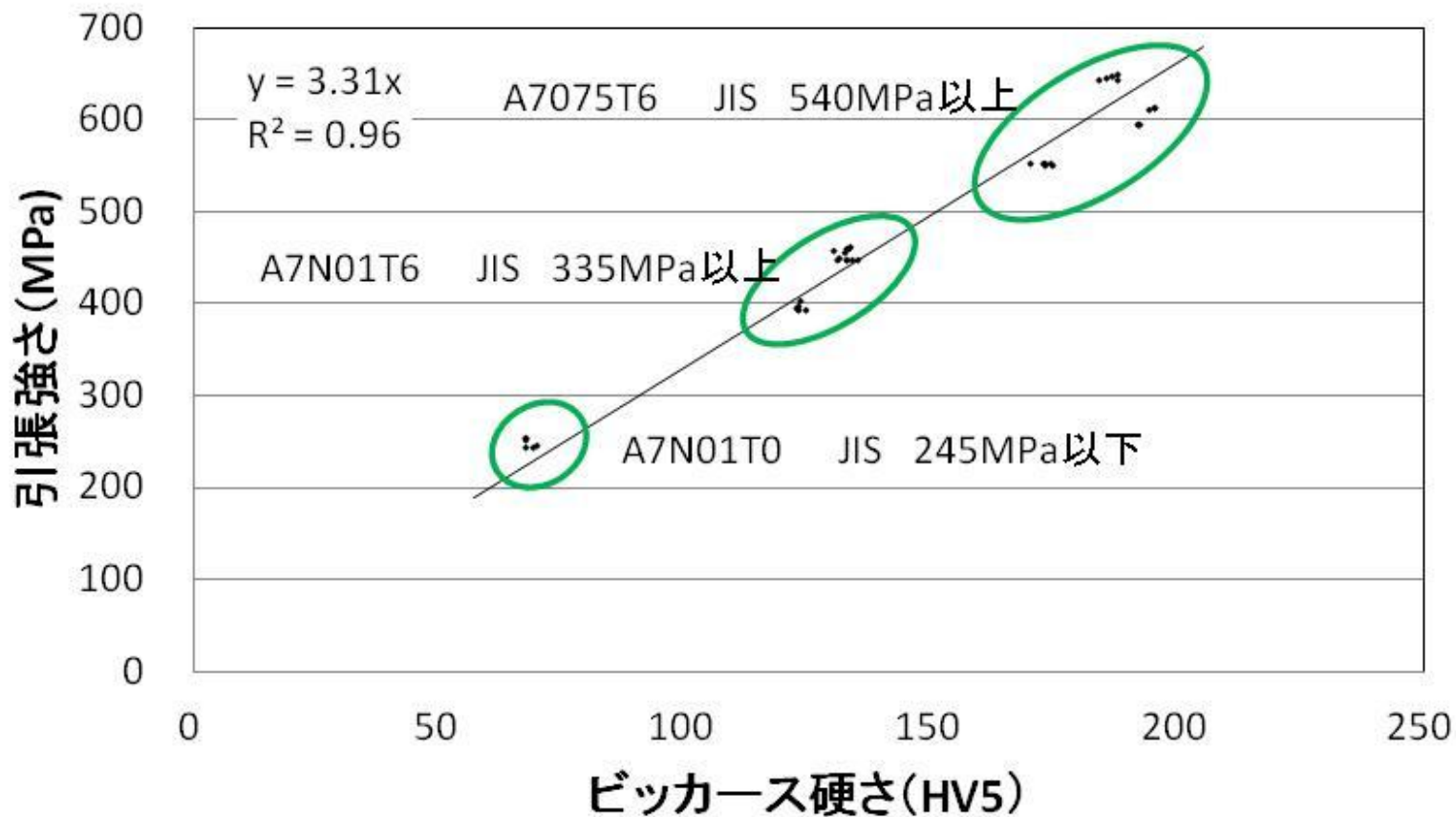
・ 2000系



# 引張強さービッカース硬さ 6000系



## 引張強さービッカース硬さ . 7000系



引張強さとビッカース硬さの関係は、ほぼ文献値と一致しており、**ビッカース硬さから引張強さを推定可能**であることが確認された。ただし、高強度材は回帰式から外れる。

# 5. ビッカース硬さとウェブ硬さ、バーコル硬さの関係

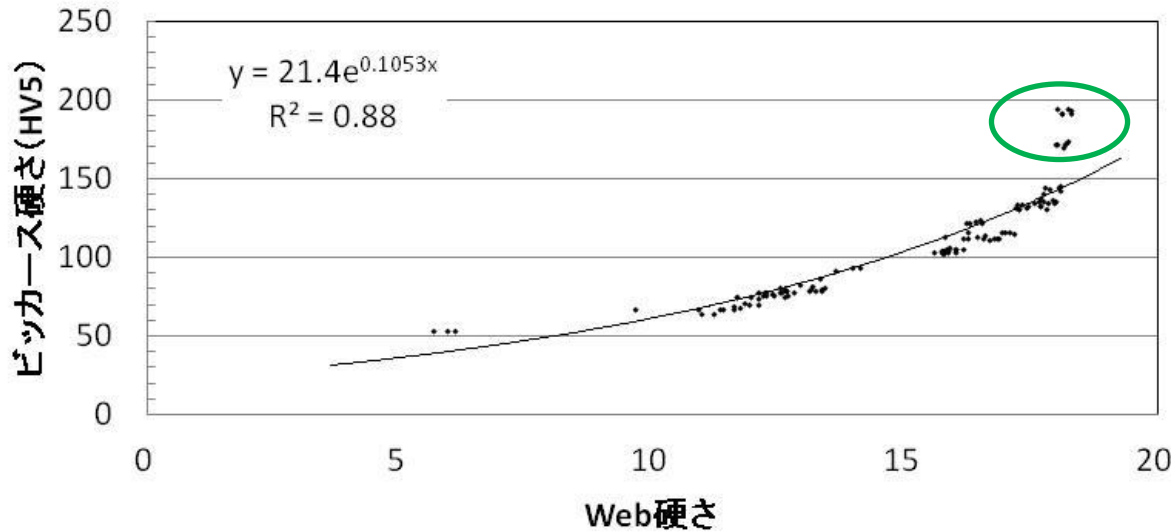
## (1) 試験方法

「ビッカース硬さと引張強さの関係」で使用したのと同じアルミニウム合金を用いて、1試料5箇所 hardness を測定して平均。

## (2) 試験結果

ビッカース硬さとウェブ硬さ、ビッカース硬さとバーコル硬さには強い相関が認められ、ビッカース硬さと指数関数により近似可能。

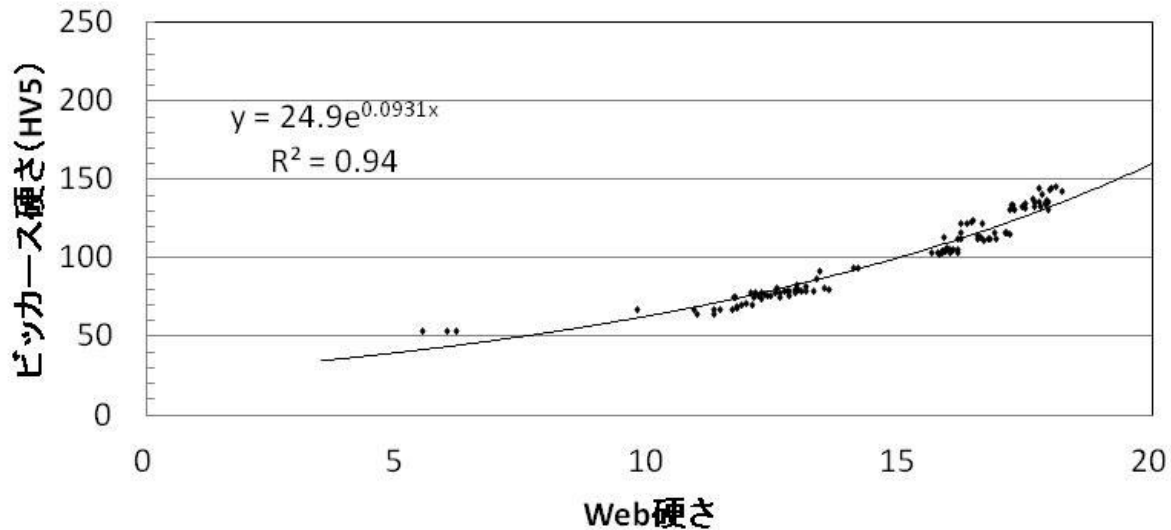
ビッカース硬さ-Web硬さ実測



ウェブ硬さが約18以上の領域で回帰式から外れる

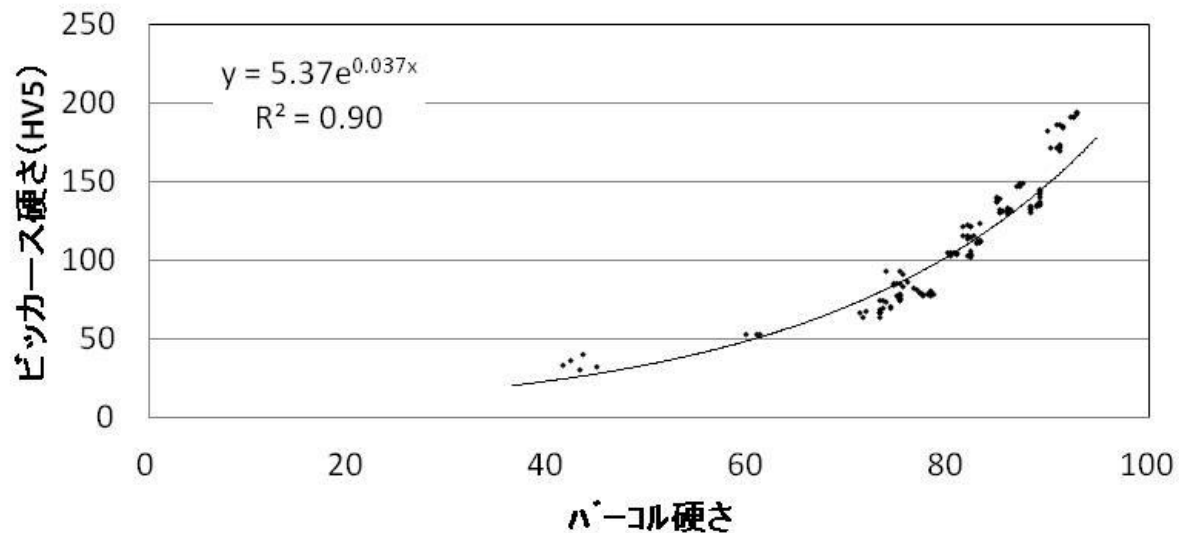


ビッカース硬さ-Web硬さ実測



ウェブ硬さが7~18の範囲でビッカース硬さに近似可能

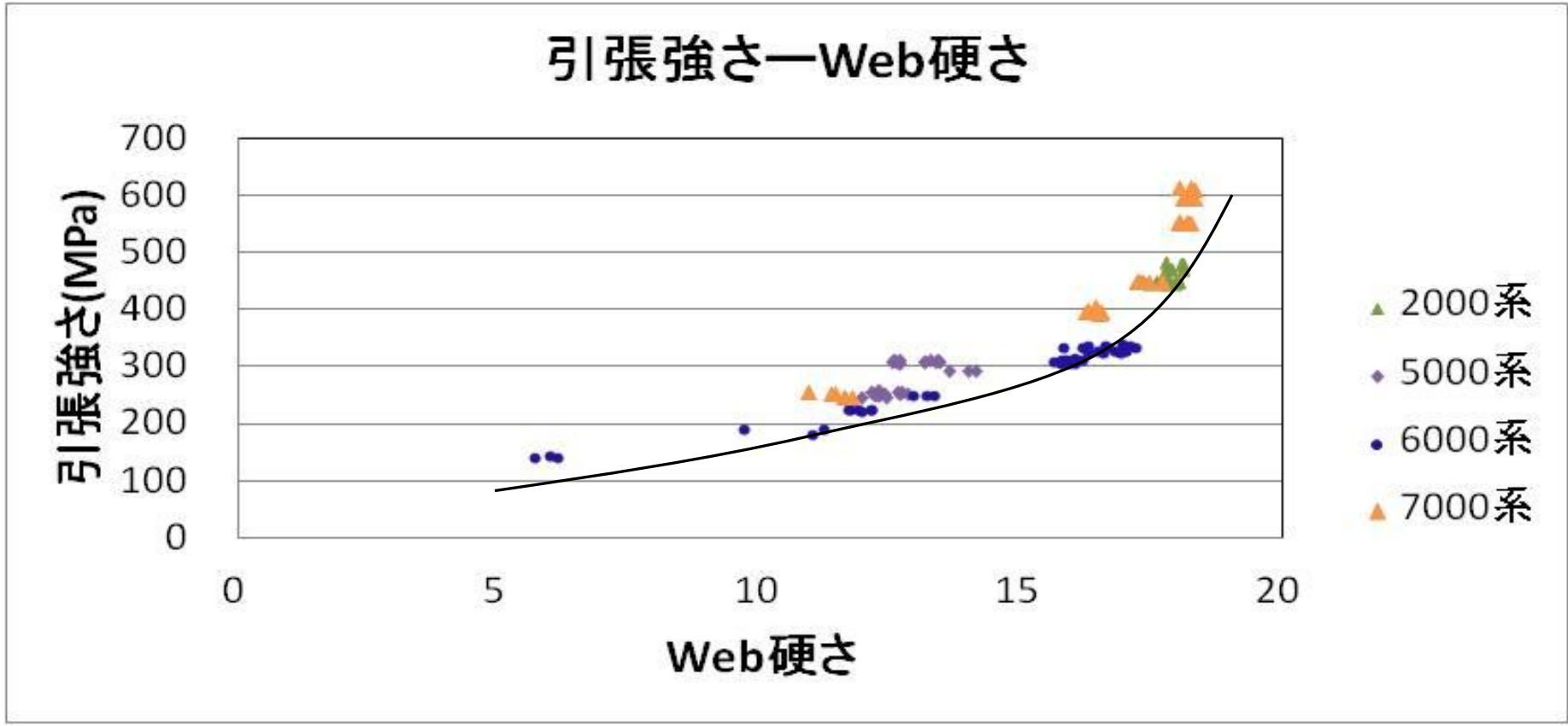
## ビッカース硬さ-バーコル硬さ実測



バーコル硬さが90  
以下の範囲でビッ  
カース硬さに近似  
可能

# 6. 引張強さとウェブ硬さ、バーコル硬さの関係

## (1) 試験結果

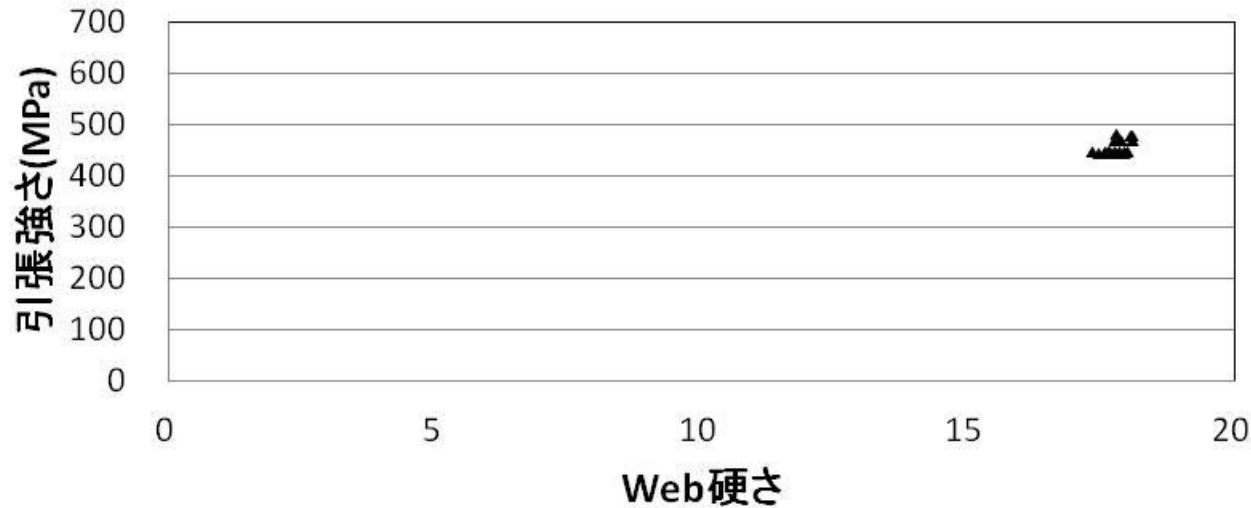


相関は強いが、1つの回帰式から推定するにはばらつきが大きくなることから、合金系列ごとに推定するほうが良い。



引張強さーWeb硬さ

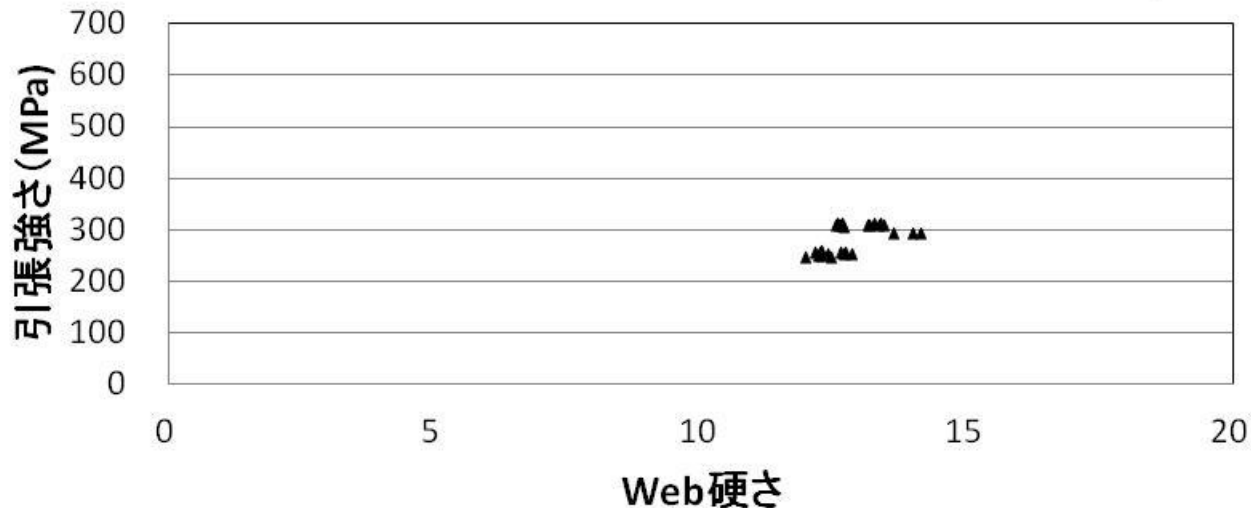
▲ 2000系



ばらつきは少ないが、回帰式は得られない。

引張強さーWeb硬さ

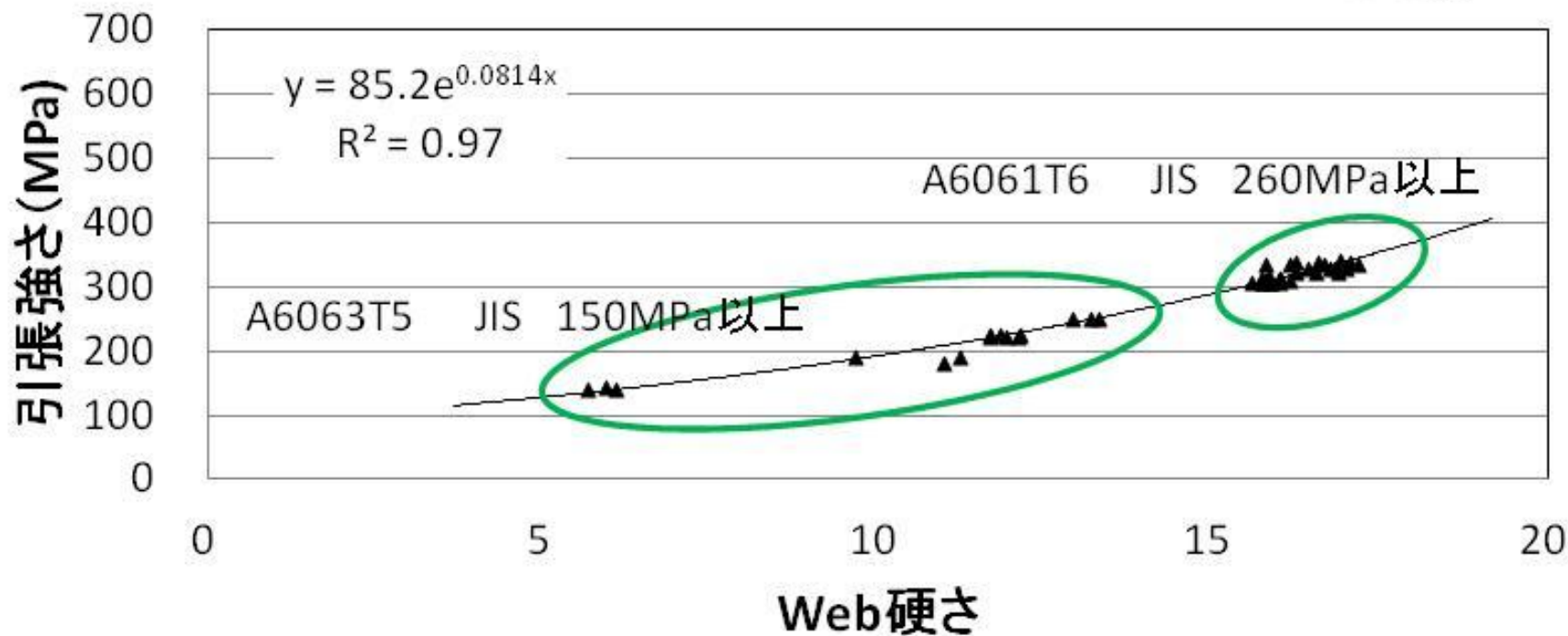
▲ 5000系



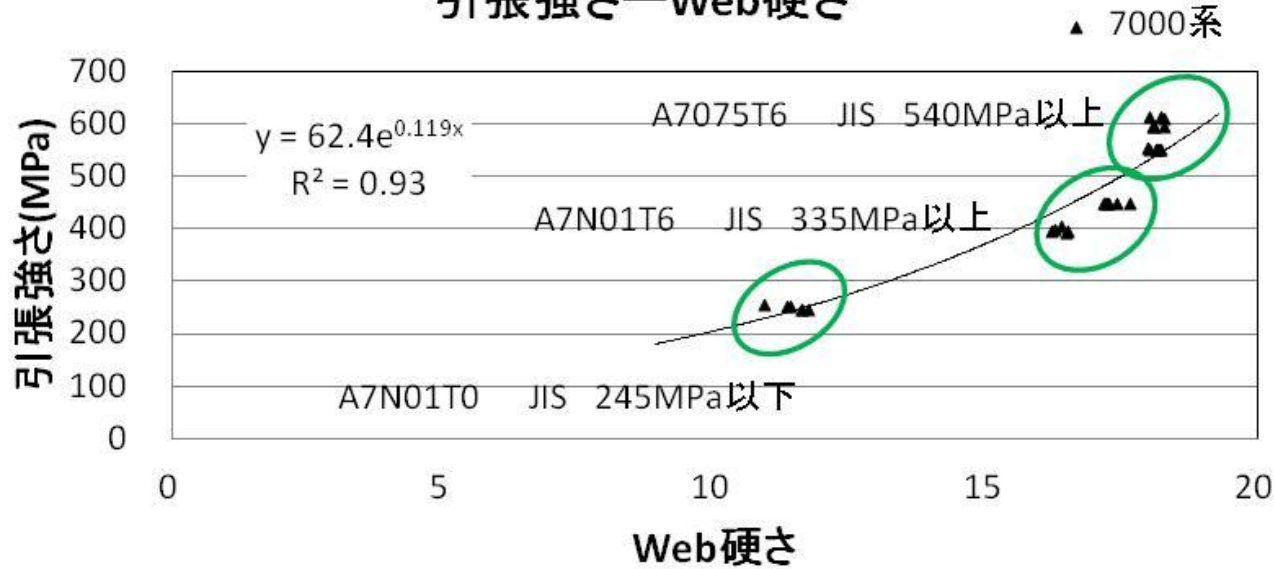
ばらつきが大きい

# 引張強さーWeb硬さ

▲ 6000系



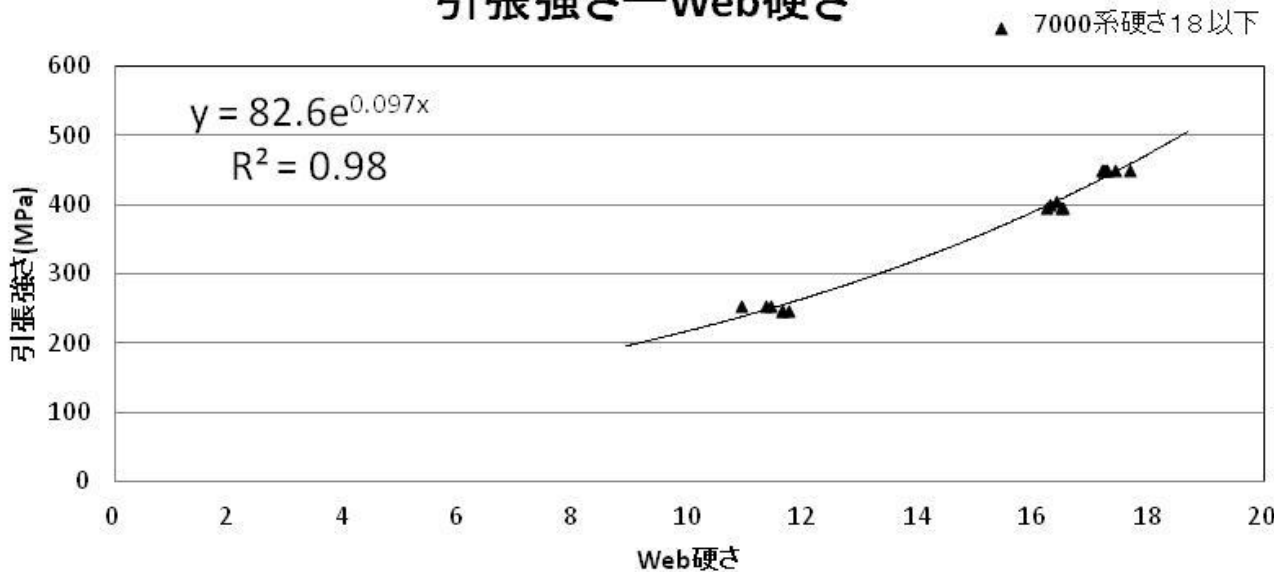
## 引張強さーWeb硬さ



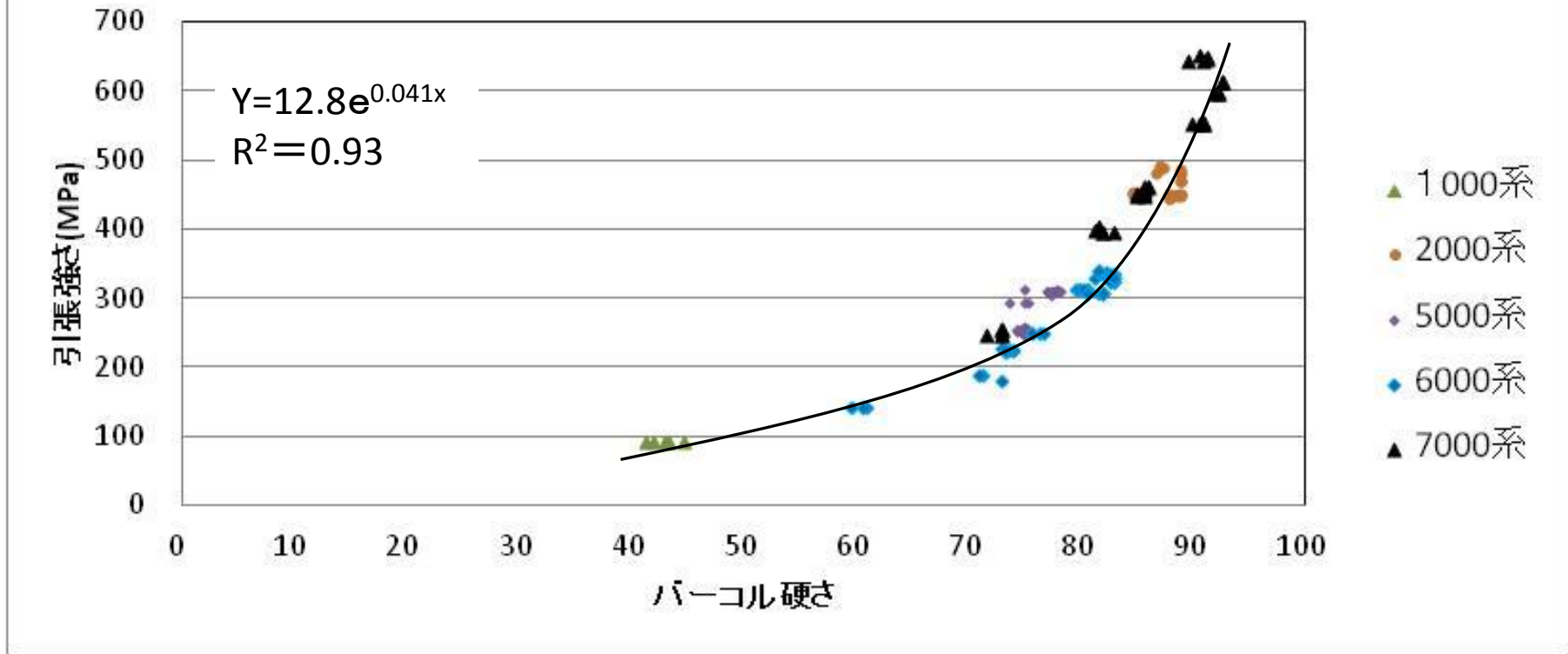
ウェブ硬さが約18以上の領域で回帰式から外れる



## 引張強さーWeb硬さ



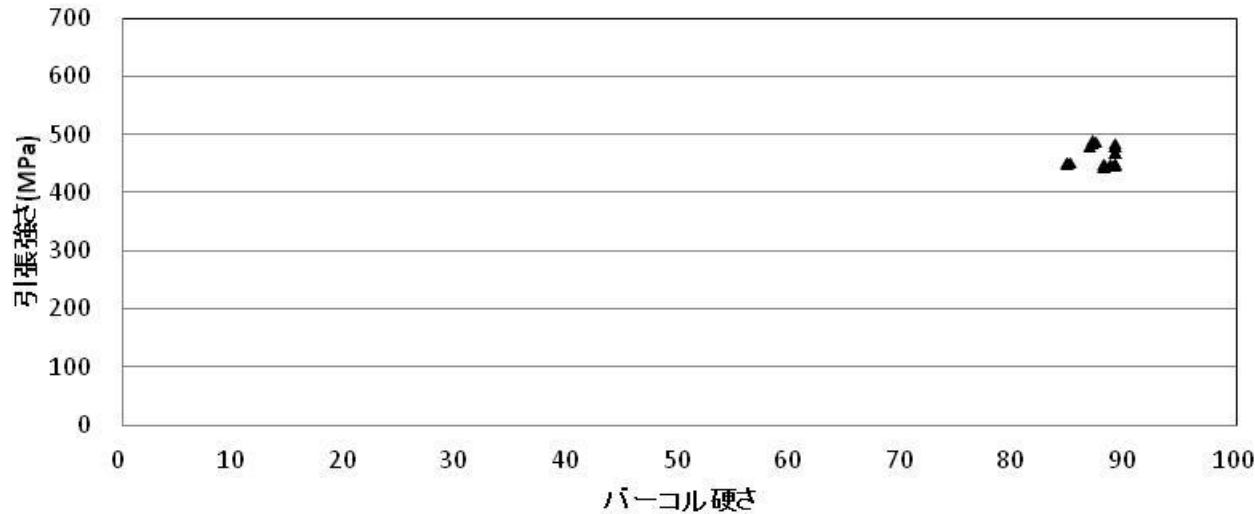
## 引張強さーバーコル硬さ



相関は強いが、1つの回帰式から推定するにはばらつきが大きくなることから、合金系列ごとに推定するほうが良い。

### 引張強さーバーコル硬さ

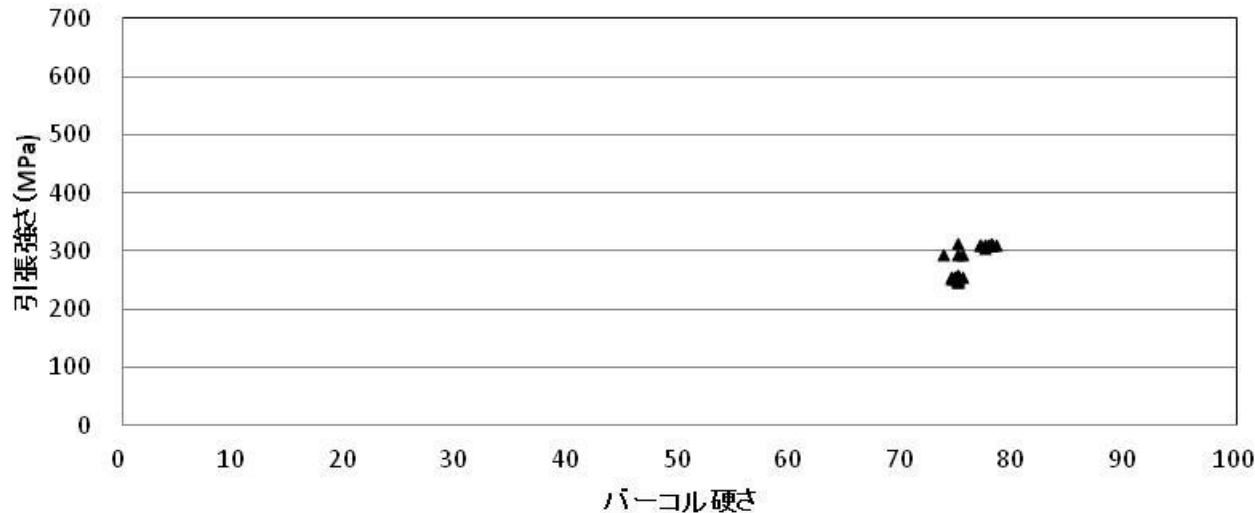
▲ 2000系



ばらつきが大きい

### 引張強さーバーコル硬さ

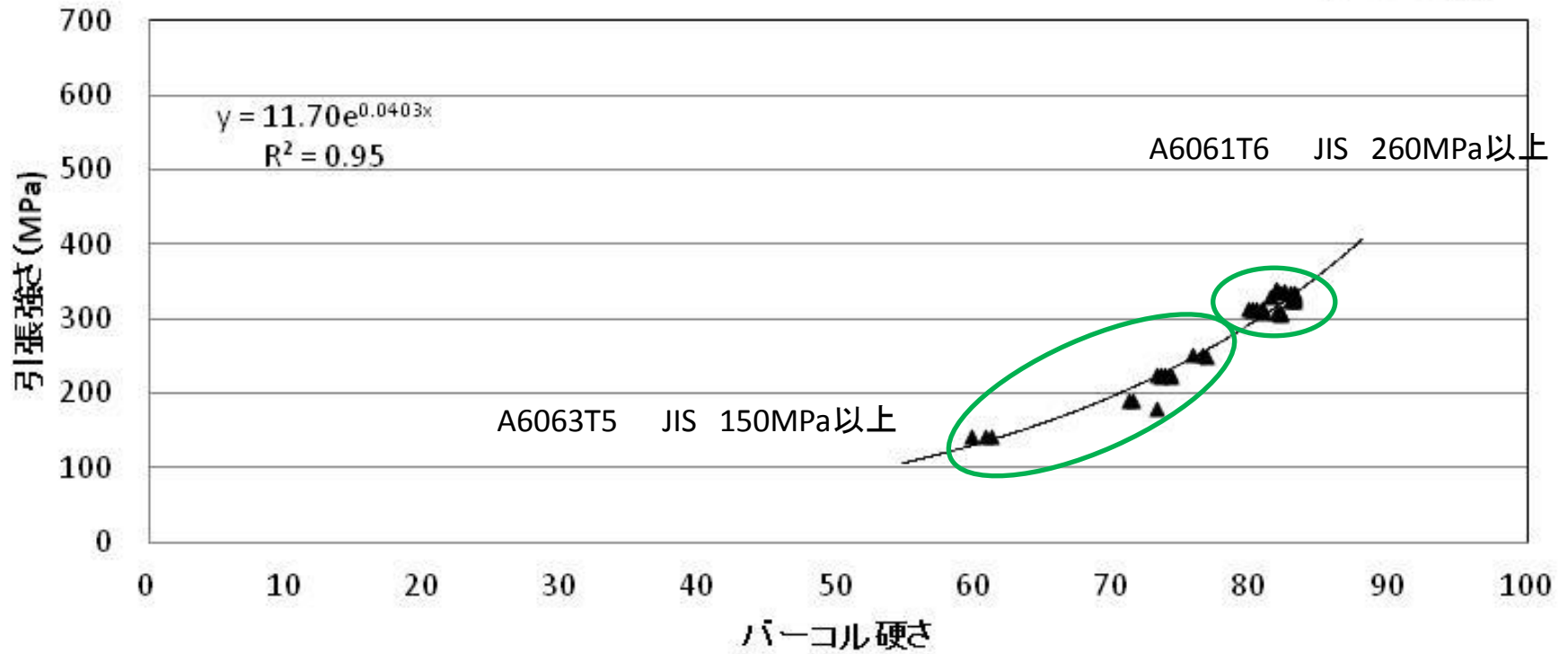
▲ 5000系



ばらつきが大きい

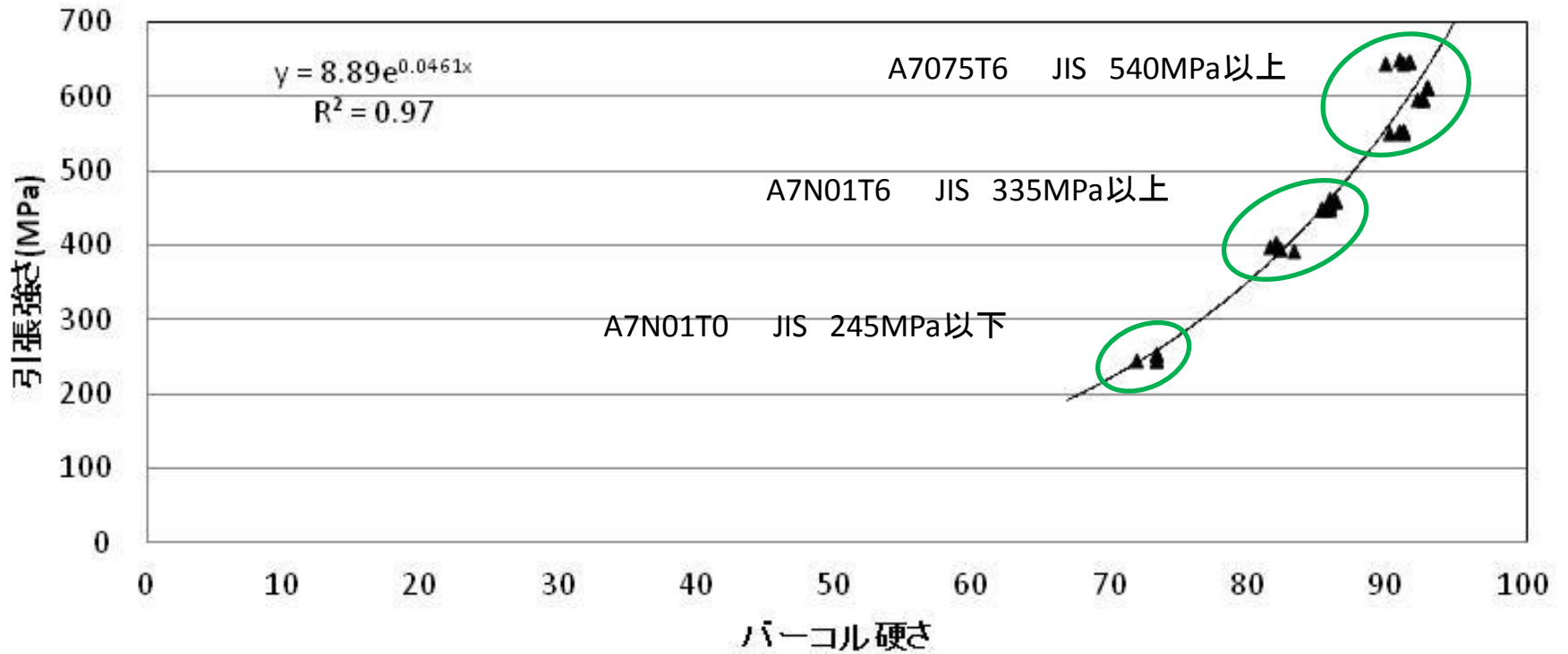
# 引張強さーバーコル硬さ

▲ 6000系



# 引張強さーバーコル硬さ

▲ 7000系



# 7. まとめ

(1) アルミニウム合金の引張強さとビッカース硬さの相関は、

- ① 試験した合金系全体:  $\text{引張強さ (MPa)} = 3.24 \times \text{HV}$
- ② 2000系、7000系合金:  $\text{引張強さ (MPa)} = 3.30 \times \text{HV}$
- ③ 6000系合金:  $\text{引張強さ (MPa)} = 2.94 \times \text{HV}$

(2) ビッカース硬さとウェブ硬さ、ビッカース硬さとバーコル硬さには強い相関が認められ、指数関数を用いて近似できる。

- ①  $\text{HV} = 24.9e^{0.093x}$   $x$ : ウェブ硬さ測定値
- ②  $\text{HV} = 5.37e^{0.037x}$   $x$ : バーコル硬さ測定値



### (3) 引張強さとウェブ硬さの相関は、

① 6000系合金： 引張強さ(MPa) =  $85.3e^{0.081x}$

② 7000系合金： 引張強さ(MPa) =  $82.7e^{0.097x}$

x: ウェブ硬さ測定値

### (4) 引張強さとバーコル硬さの相関は、

① 6000系合金： 引張強さ(MPa) =  $11.7e^{0.040x}$

② 7000系合金： 引張強さ(MPa) =  $8.89e^{0.046x}$

x: バーコル硬さ測定値

(5) ウェブ硬さ、バーコル硬さとも硬さが大きい領域で引張強さとの相関が弱く、回帰式から外れる。

(6) 合金種別が不明の材質、微妙な領域(規格値ぎりぎりでの判定、低強度・高強度材)では、引張強さの推定に向かない場合があるので、硬さから推定しても問題とならないか注意が必要。

注意点は、

- ・引張強さは、試験片のサイズなどで変化する。
- ・硬さは、試験片の厚み、試験条件の影響を受ける。
- ・測定にはばらつきが伴う。
- ・合金系列・調質(熱処理、加工方法)ごとに関係式を確認すれば、より正確に引張強さを推定できる。

## 8. 効果、活用事例

### (1) 引張試験を行わずに材料強度を推定出来る

- ① 試験コストの削減
- ② 試験時間の短縮

・引張試験片を作成するには、工作機械が必要  
・引張試験片の作成には、数週間必要

試験片の加工が不要で、硬さ測定は1分！

### (2) 引張試験が出来ない製品の材料強度を推定出来る

- ① 事故原因調査の精度が向上
- ② 受け入れ検査、品質管理に利用

・引張試験片作成に必要な大きさが無い  
・製品を切断できない

事故品の強度が明らかになるので、詳細な事故調査(強度解析)が可能となる