ノート

ビッカース硬さの自動測定に関する研究

高橋　靖*

Research on Automatic Measurement of Vickers Hardness

TAKAHASHI Yasushi*

1. 緒　　言

ビッカース硬さ試験では，圧痕の対角線長さを計測顕微鏡で測る際に，読み取りを人の眼に頼っているため，試験者による違いや測定値にバラツキが生じる原因となっている。このため，近年では，その読み取りを画像処理により自動的に行うことのできる硬さ試験機も市販されている。しかし，金属組織が現出したような地模様のある測定サンプルでは，通常の画像処理でも圧痕の輪郭をうまく抽出することができず，自動での読み取りができない。

本研究では，ビッカース硬さ試験における圧痕の輪郭検出，対角線長さの測定，HV 硬さ計算を画像処理ライブラリ OpenCV を使い Python によるプログラムで自動化した。また，圧痕の検出にディープラーニング（Pytorch）による物体検出を適用し，その検出精度について検討した。

表 1　試験機器

ビッカース硬度計	（株）アカシ製 MVK-H2 試験力:9.8mN~19.6N 計測顕微鏡対物レンズ:×40 最小表示:0.1μm 計測範囲:0~175μm
モノクロカメラ	Basler 社製 acA2040-120um センサー:1/1.8”CMOS 解像度:3Mpix 画素数:2048×1536pix
顕微鏡レンズ	オリンパス光学工業（株）製 NFK3.3xLD，NFK5xLD
パーソナルコンピュータ	日本電気（株）製 PC-VJ19EF-J OS:Windows10 64it
ソフトウェア	Python 3.8.5 pytorch 1.10.0 Basler pylon ドライバー Basler pypylon

2.　試験機器

2.1　試験機器

表 1 に示す試験機器を使用し，顕微鏡レンズを介してモノクロカメラからパーソナルコンピュータに画像を取り込み，処理を行う自動測定システムを構築した。その外観を図 1 に示す。

2.2　長さの値付け

対物ミクロスケール（（株）渋谷光学製 OB2002，ピッチ 0.01mm）により，自動測定システムの縦方向，横方向の長さを値付けした。

2.3　HV 硬さの間接検証

JIS B7725 に準じ，HV 硬さの間接検証を実施し，自動測定システムの画像処理により測定した HV 硬さは JIS の許容範囲内であることを確認した。よって以降の検討では，この HV 硬さを基準値とした。

図 1　自動測定システムの外観

*　下越技術支援センター

3. 試験方法

3.1 測定サンプル

硬さ基準片（山本科学工具研究社製，HMV 200，HMV500）および，これらを 5%硝酸エタノール溶液によりエッチングし，金属組織を現出したものを測定サンプルとした。

表 2 試験条件

圧痕サイズ (計算値)	基準片	試験力
13.6μm	HMV500	0.49N
21.4μm	HMV200	0.49N
68.1μm	HMV200	4.9N

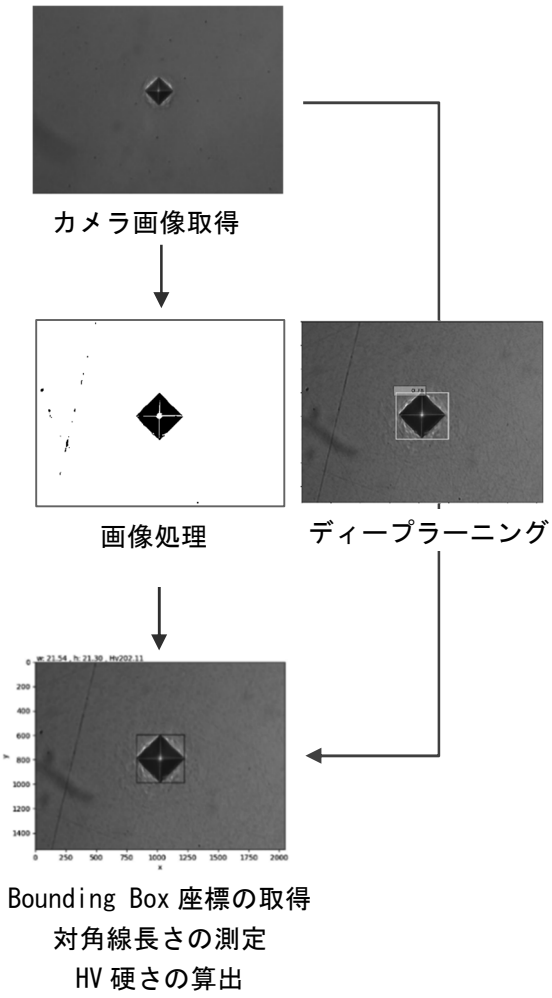


図 2 自動測定処理の流れ

表 3 使用したディープラーニング

方式	使用したソフトウェア
SSD	参考文献 1 のサンプルプログラム
Faster R-CNN	Detectron2[2)]
YOLOv5	Ultralytics YOLOv5[3)]

3.2 試験方法

自動測定システムでは，ビッカース硬度計により測定サンプルに圧痕を打った後，圧痕の画像をカメラで取得し，画像処理（二値化処理，輪郭抽出）を行い，Bounding Box 座標の取得，対角線長さの測定，HV 硬さの計算を行う。試験条件は表 2 に示すように圧痕サイズが異なる 3 種類となるよう設定した。図 2 の左に通常の画像処理による自動測定処理の流れを示す。

3.3 ディープラーニングによる圧痕の検出

ディープラーニングによる物体検出と付随の学習済みモデル [1)]を使い，取得したカメラ画像から直接圧痕を検出して，Bounding Box 座標を取得し，そこから対角線長さの測定，HV 硬さの計算を行う。その流れを図 2 の右に示す。使用したディープラーニングは表 3 に示す 3 方式とした。

3.4 Bounding Box 検出精度の評価

ディープラーニングによる圧痕の Bounding Box の検出精度については IOU(Intersection Over Union)により評価した。IOU は 2 つの領域 A，B がどれぐらい重なっているかを示す指標であり，IOU=(A∩B)/(A∪B) で求められる。IOU=1 ならば A と B は完全に重なっていることを意味し，IOU=0 ならば A と B は重なりが全くないことを意味する。自動測定システムの画像処理により求めた Bounding Box を基準として，ディープラーニングが検出した Bounding Box の IOU を計算した。さらに検出した Bounding Box から HV 硬さの推論値を計算し，HV 硬さとの誤差を求めた。

4. 試験結果

試験結果を表 4 に，ディープラーニングにより検出した Bounding Box の例を図 4 に示す。各方式のディープラーニングによる物体検出と付随の学習済みモデルでは，様々な score で label を判断し，圧痕の Bounding Box を検出した。ディープラーニングの方式によって IOU に違いがみられた。なお，IOU は低いほど HV 誤差は大きくなる。

圧痕サイズによる違いについて，圧痕サイズが 68.1μm と大きい場合は，IOU が 0.6 程度でも HV 推論値は誤差の小さい結果が得られた。一方，圧痕サイズ 13.6μm と小さい場合は、IOU が高くても，Bounding Box のわずかな差が HV 硬さに影響するため，誤差も大きい傾向がみられた。

表 4　試験結果

圧痕サイズ:13.6μm　500HV0.05

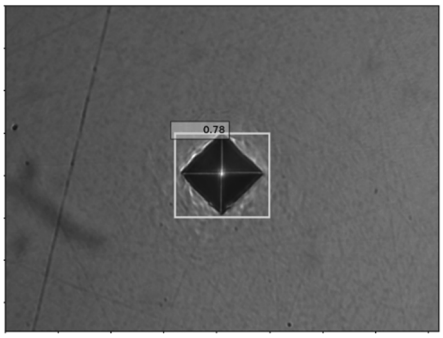
方式	score	IOU	推論値	誤差
SSD	0.13	0.67	338	32.2%
Faster R-CNN	0.95	0.95	476	4.4%
YOLOv5	0.80	0.95	471	5.4%

圧痕サイズ:21.4μm　200HV0.05

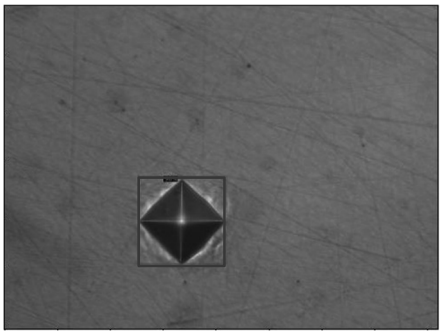
方式	score	IOU	推論値	誤差
SSD	0.78	0.87	175	12.3%
Faster R-CNN	0.93	0.94	193	3.1%
YOLOv5	0.71	0.96	197	1.3%

圧痕サイズ:68.1μm　200HV0.5

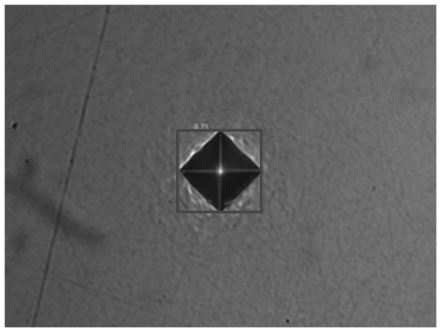
方式	score	IOU	推論値	誤差
SSD	0.91	0.54	175	12.6%
Faster R-CNN	0.74	0.58	209	4.8%
YOLOv5	0.63	0.60	201	0.4%



(a)SSD



(b)Faster R-CNN



(c)YOLOv5

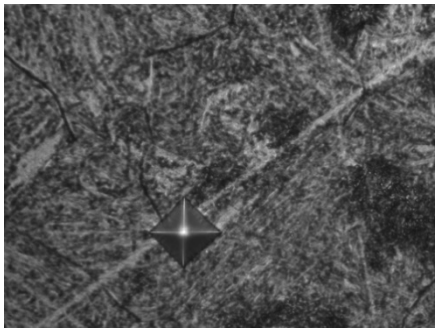
図 4　ディープラーニングによる Bounding Box 検出結果

5. 考　　察

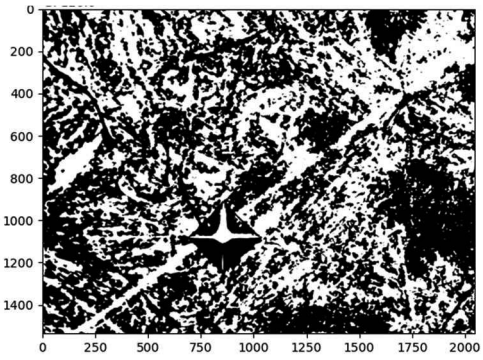
本研究で適用したディープラーニングの中では，YOLOv5 が最新方式のため比較的誤差が小さかった。また，今回のディープラーニングは，付随の学習済みモデルを用いており，モデルのチューニングがなされていないため，圧痕の検出精度はそれほど高くなかったものと思われた。特に，サイズの小さな圧痕を検出する場合は，高い Bounding Box 検出精度が要求されることが

分かった。今後，自動測定システムで圧痕の訓練データを収集し，ディープラーニングを学習させることより，Bounding Box 検出の精度を向上させる必要があると思われる。

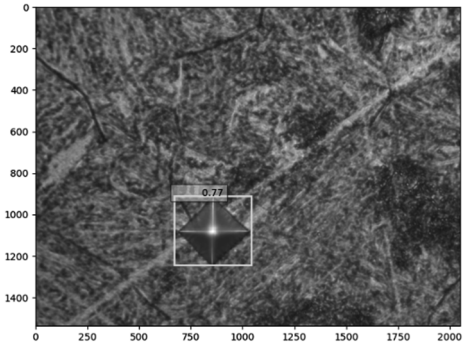
また，地模様のある圧痕（図 5a）を測定するようなケースでは，通常の画像処理による自動測定では Bounding Box 検出が困難であった（図 5b）。一方，ディープラーニングによる物体検出を適用したところ，Bounding Box 検出が可能であり（図 5c），ディープラーニング適用の優位性を示すものと思われる。



(a) 元画像



(b) 通常の画像処理



(c) ディープラーニング

図 5　地模様のある圧痕の例

6. 結　　言

(1) ビッカース硬さ試験における圧痕の Bounding Box 検出，対角線長さの測定，HV 硬さの計算を Pytorch と OpenCV を使いプログラムにより自動化した。この自動測定システムにより求めた HV 硬さは，JIS B7725 による間接検証の許容範囲内であった。

(2) 3 方式のディープラーニングによる物体検出と付随の学習済みモデルを用いて圧痕の Bounding Box 検出を行い，画像処理により求めた Bounding Box を基準として，ディープラーニングによる Bounding Box 検出精度を検討した。その結果，ディープラーニングの方式によって IOU に違いがみられた。また，圧痕サイズはより小さいほうが，IOU の高い精度が要求されることが分かった。

(3) 地模様のある圧痕を測定する場合，通常の画像処理では Bounding Box 検出が困難であるが，ディープラーニングによる物体検出を適用することにより Bounding Box 検出が可能であることを確認した。

参考文献

1) 新納弘幸著，PyTorch による物体検出，（株）オーム社，2020，p.144，p156～170

2) https://github.com/facebookresearch/detectron2, 2022 年 3 月 30 日

3) https://github.com/ultralytics/yolov5/releases, 2022 年 3 月 30 日