

新市場創造型標準化制度採択テーマ / 日本機械学会優秀製品賞受賞 → P. 19

微小球反発試験機 eNM3A10

(汎用高性能硬さ試験機・ポータブル)

～ 精密な硬さ試験をいつでもどこでも何にでも ～

- 微小球を使い、試料の硬さ(反発係数)を測る
世界で唯一の製品
- 面倒な調整ナシ...電源ONですぐ試験!
次の準備もワンプッシュ動作
- 試験片の作製不要...小さな部品*1も
大きな物体もそのまま試験*2
- 試料への影響小...試料に衝突させる球は
たったの $\phi 3\text{mm}$ (わずか 0.06g)!
跡には小さなくぼみが残るだけ
- ポータブル...試験機は約 0.6kg で、単3
電池2本またはUSB電源で動作
- 360° 試験...どんな向きでもOK
(鉛直, 倒立, 水平etc.)

*1 目安として、 5mm 以上の厚さが必要

*2 試料面は#600での表面研磨を推奨
(#100の場合、反発係数が約2%低下)

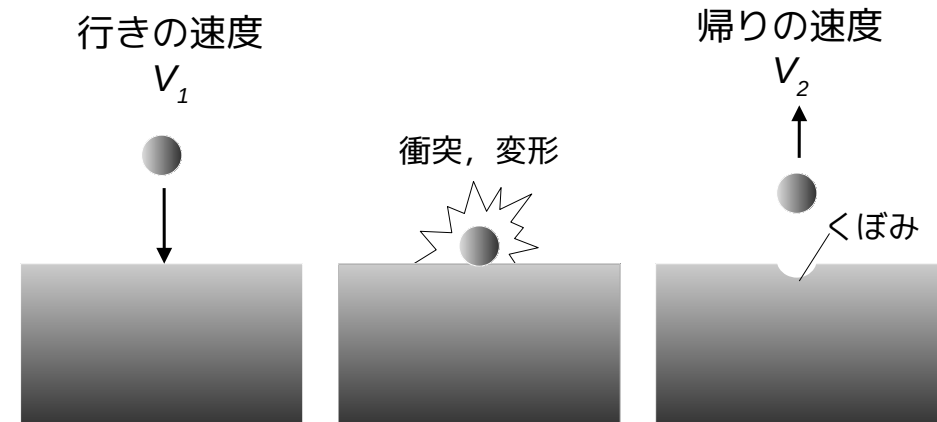


原理はとってもシンプルです

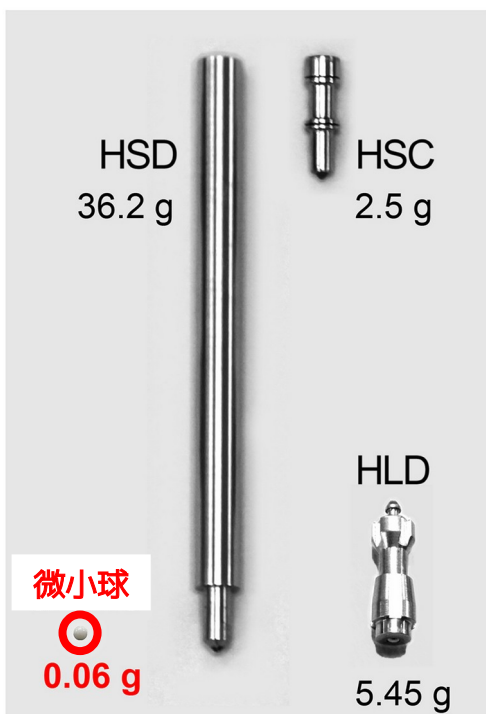
～ はね返り(反発係数)で試料の硬さがわかる ～

- 微小球を試料に衝突させ、行きと帰りの速度をそれぞれ計測します。この速度比を反発係数 e といいます。
- 試料が弾性変形の場合、理想的には行きと帰りの速度は同じになり、 $e = 1$ になります。
- 試料が塑性変形する場合、微小球の運動エネルギーはくぼみの形成に費やされた分だけ失われるため、 e は1より小さくなります。
- 試料が硬く塑性変形しにくいほど e は大きく、逆に試料が軟らかいと e は小さくなります。
- 微小球をインパクトボディ(衝突体)にする方式は、中村雅勇 千葉大学・豊橋技術科学大学名誉教授、牧清二郎 三重大学名誉教授らのアイデアであり、eNMのNとMは両先生のイニシャルから付けました。

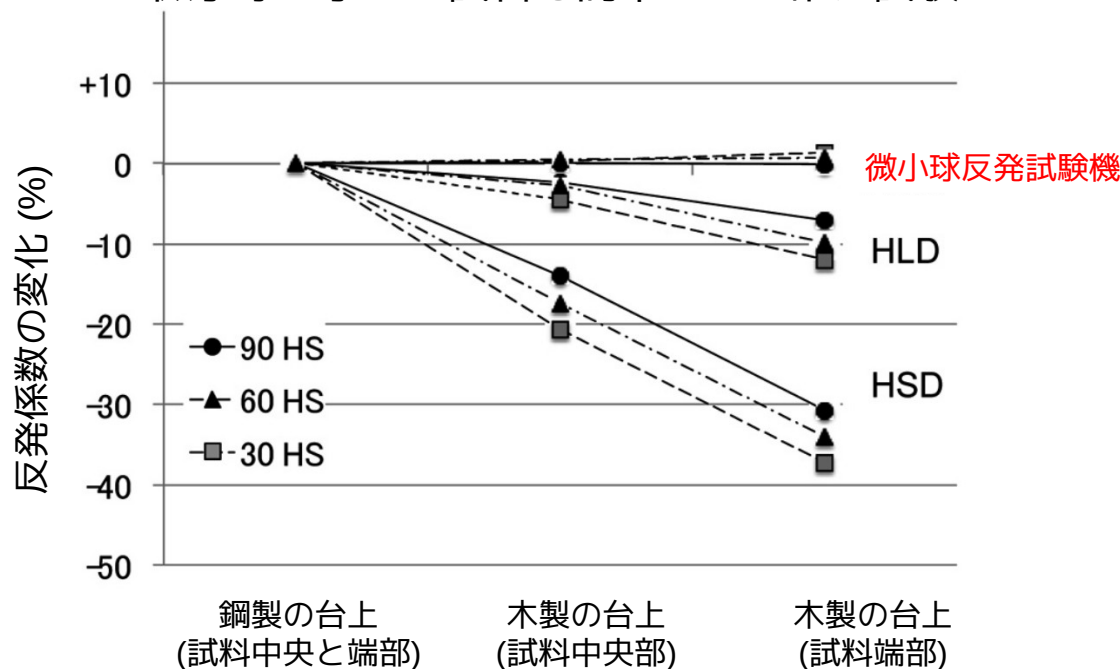
$$\text{反発係数 } e = V_2 / V_1$$



より小さな試料を— より自由に試験できます



～ 微小球で小さな試料も簡単かつ正確に試験 ～



●微小球(φ3mm)の質量(0.06g)は従来の反発硬さ試験のインパクトボディ(衝突体)の数十～数百分の一です。

●そのため、より小さな試料も試験できます。^{*1}

●試料を木製の台上で試験しても、しっかりした鋼製の台上とほぼ同じ値でした。

●試料の端部付近でも問題なく試験できました。

*1 目安として、5mm以上の厚さが必要

こんな品物も試験できます

反発係数の試験結果(参考値)

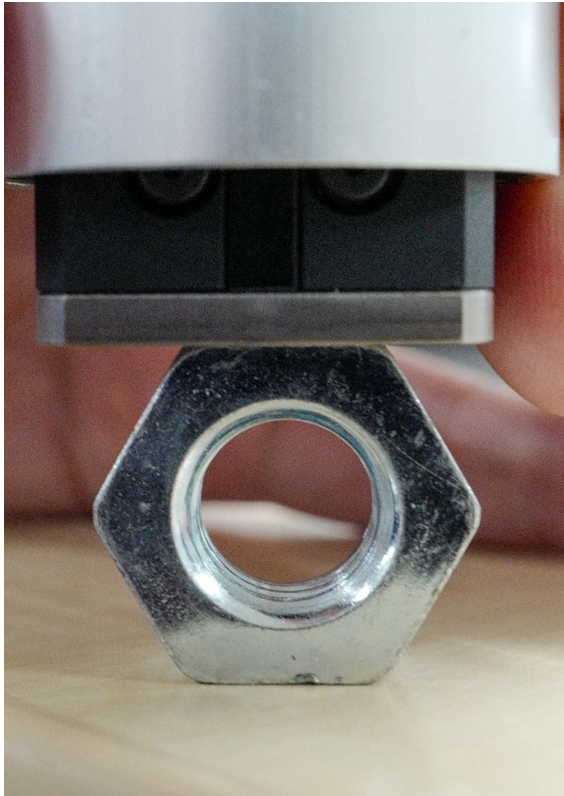
品物	e
40 HV 純銅製 硬さ基準片 (φ64×10 mm, 265 g)	0.19
ゆで卵 殻むき後 (60 g)	0.26
天然ゴム ブロック (厚さ50 mm)	0.38
100 HV 黄銅製 硬さ基準片 (φ64×10 mm, 255 g)	0.44
木製バット 少年用 1962年製 (全長800 mm, 560 g)	0.48
200 HV 鋼製 硬さ基準片 (φ64×15 mm, 380 g)	0.55
ポリエチレン製 まな板 (厚さ13 mm)	0.63
鯉節 (250 g)	0.70
400 HV 鋼製 硬さ基準片 (φ64×15 mm, 380 g)	0.72
御影石 プレート (厚さ10 mm, 2.3 kg)	0.87
800 HV 鋼製 硬さ基準片 (φ64×15 mm, 380 g)	0.90
クリスタルガラス 灰皿 (1.9 kg)	0.98



～ ただいま鯉節を試験中 ～

- 微小球 (φ3mm) が真っ直ぐ反射して戻ってくる平滑な面を試験することができます。
- 目安として、試料には5mm以上の厚みが必要です。
- デモ機をご用意しています。試してみたい試料がございましたら、取扱店にご相談ください。

実用品も，そのまま



鋼製ナット (M12)



中空鋼管 (直径55mm)



自動車用タイヤのアルミホイール

小さなものから大きなものまで，従来の反発硬さ試験機では難しいナットや鋼管，タイヤのアルミホイールなど，さまざまな形状の実用品をそのまま試験できます。

あずきバーの硬さを試験する (YouTube動画)

～ アイスも試験できる硬さ試験機 ～

- 硬いことで有名な井村屋「あずきバー」の硬さ(反発係数)を試験しました。
- 写真のようにあずきバーをドライアイスで冷却し、 -25°C で試験します。(ただし、このような低温での実験は本来、試験機の保証対象外となります。)
- 硬さ(反発係数)は約0.34。室温におけるカンパン(約0.26)より硬いことがわかります。
- ぜひ、以下のリンクから実際の動画もご覧ください。
(再生時間 約1分)



<https://www.youtube.com/watch?v=3k3iZkVLdRw>
(またはYouTubeで「微小球反発」を検索)

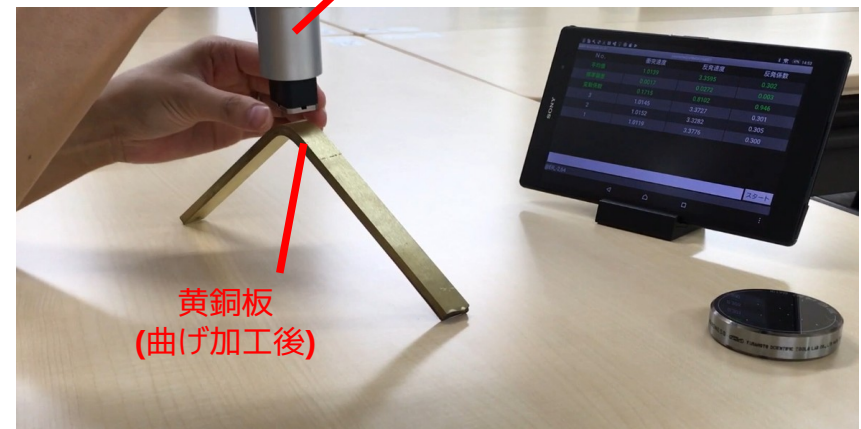
※2023.12.11. テレビ朝日
「国民1万人がガチで投票！アイス総選挙」で
あずきバーを微小球反発試験機で試験する様子
が放映されました！

黄銅の加工前後の硬さ変化 (YouTube動画)

～ 「曲げたら硬くなる」をその場で実演～

- 一般に金属材料に変形を加えると硬くなります(加工硬化)。実際に、黄銅板の曲げ加工前後での硬さ(反発係数)を微小球反発試験機で比較してみました。
- 硬さ(反発係数)は加工前は0.30でしたが、曲げ加工後は0.42と確かに硬くなりました。
- 硬さ試験→曲げ→再試験の一連の様子を、以下のリンクからノーカットの動画をご覧ください。(再生時間 約2分20秒)

微小球反発試験機



黄銅板
(曲げ加工後)

曲げた後の反発硬さ(反発係数)は……



Link https://www.youtube.com/watch?v=TYS_pBoxlls (またはYouTubeで「微小球反発」を検索)

ロボットによる自動硬さ試験 (YouTube動画)

- 微小球反発試験機をロボットで操作し、自動で硬さ試験を行うシステムを2例紹介します。

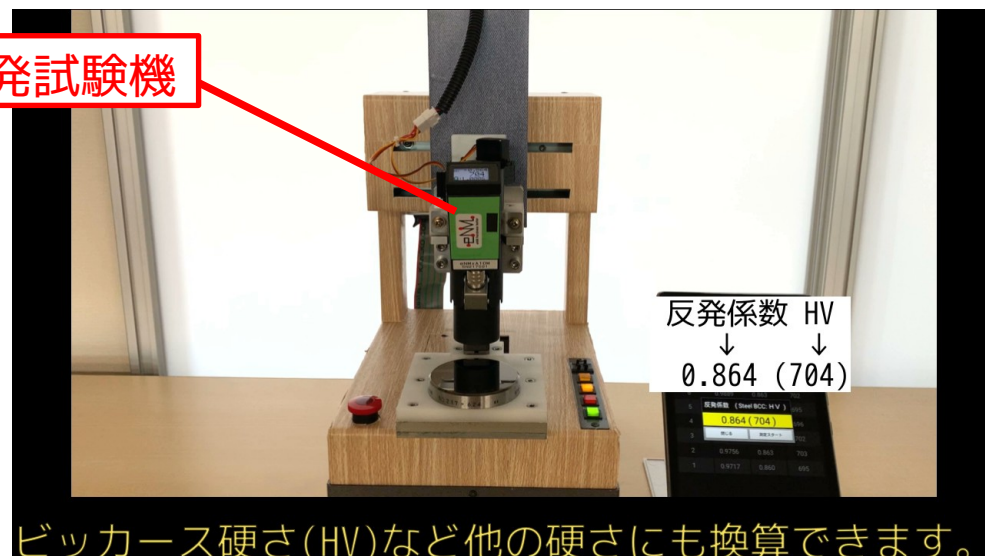


<https://youtu.be/N5NihuaXjK4>

(その1)

【最初の事例・基本動作】

再生時間 約50秒



<https://youtu.be/5imiO5JDTOU>

(その2)

【高速化・ビッカース硬さ換算】

再生時間 約90秒



- 自動的に位置を少しずつずらして硬さ試験を行うことで、試料の硬さ分布を得られます。
- 微小球反発試験機は、球の発射から再装填まで全て単純な操作ですので、このようにロボットによる自動化が容易です。

錠剤（ミントタブレット）の硬さ試験

- 市販のミントタブレットを薬の錠剤に見立てて、湿度の違いによる硬さの変化を、直径2mmのアルミナ球を使用した微小球反発試験機で試験しました。

MINTIA BREEZE（質量 約0.76g 直径 約11mm 厚さ 約7.2mm）

	反発係数
ドライキャビネット(湿度25%)で2週間保管	0.615
窓際(湿度50%)に2週間放置	0.518

- ミントタブレットは、湿度25%のドライキャビネットで2週間保管した方が、湿度50%で2週間放置した状態より明らかに高い反発係数を示しました。微小球反発試験機を用いることで、環境の違いによる硬さの変化を容易かつ定量的に試験することができます。



市販のミントタブレット
(直径 約11mm)



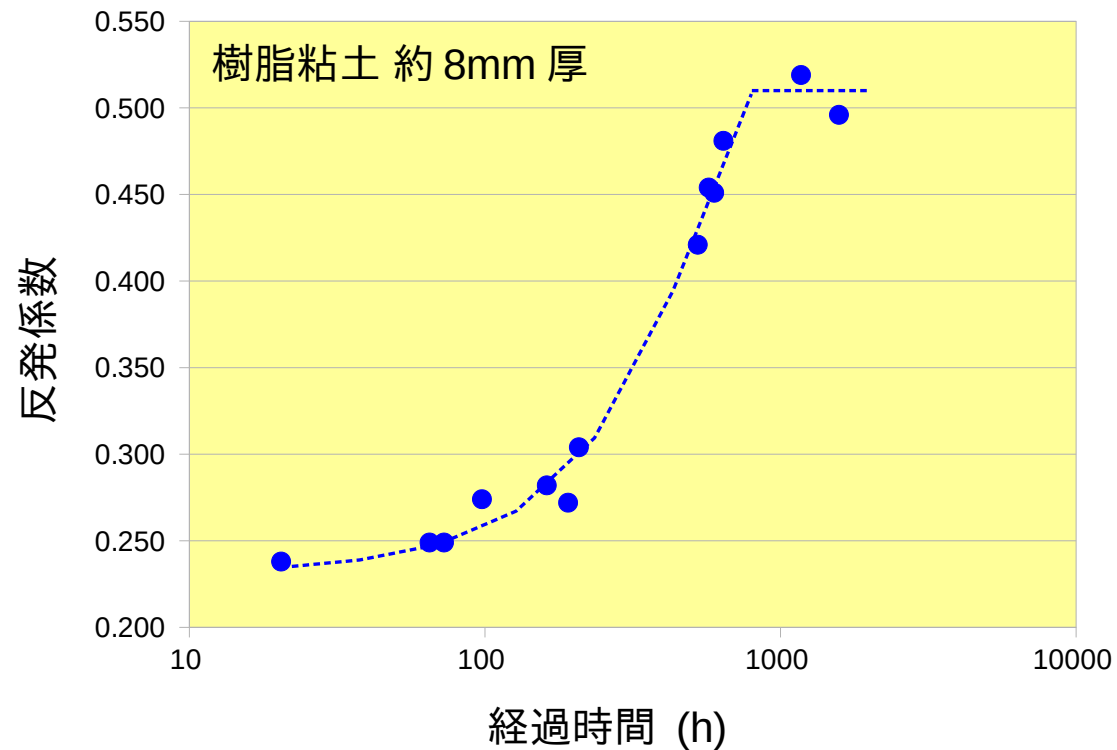
試験の様子（横向き試験）

硬さ変化の長期モニタリング

～ 硬さで材料の変化を知る ～



- 100円ショップでも売られている約8mm厚の樹脂粘土(酢酸ビニルエマルジョン)を室内に放置し、2ヶ月間、反発係数を測定しました。
- 硬化の進行過程を、定量的かつ手軽に評価できます。
- 素材の硬さ変化をモニタリングすることは、材料の劣化診断にもつながります。

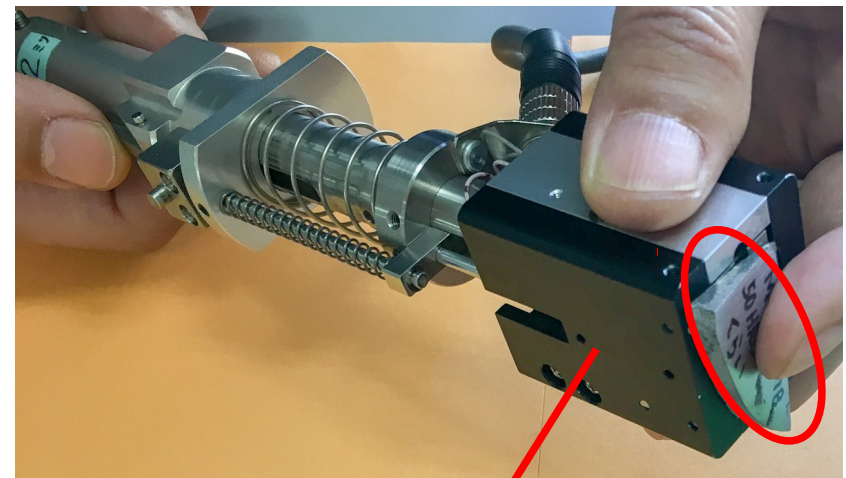


反発係数(硬さ)の経時変化

ある日の現場で— ボール刃先の破損原因調査

～ものづくり現場でも活躍します～

- ある日、現場でボールの刃先が突然破損しました。
- 調査のため小さな破損片を微小球反発試験機で試験した結果、硬さ(反発係数)が0.78と正常品の0.65より硬く、焼入後に適切に焼戻し処理されていないことが原因とわかりました。
- 小さな試料でも現場で簡単に測定できる微小球反発試験機は、ものづくり現場で役に立ちます。

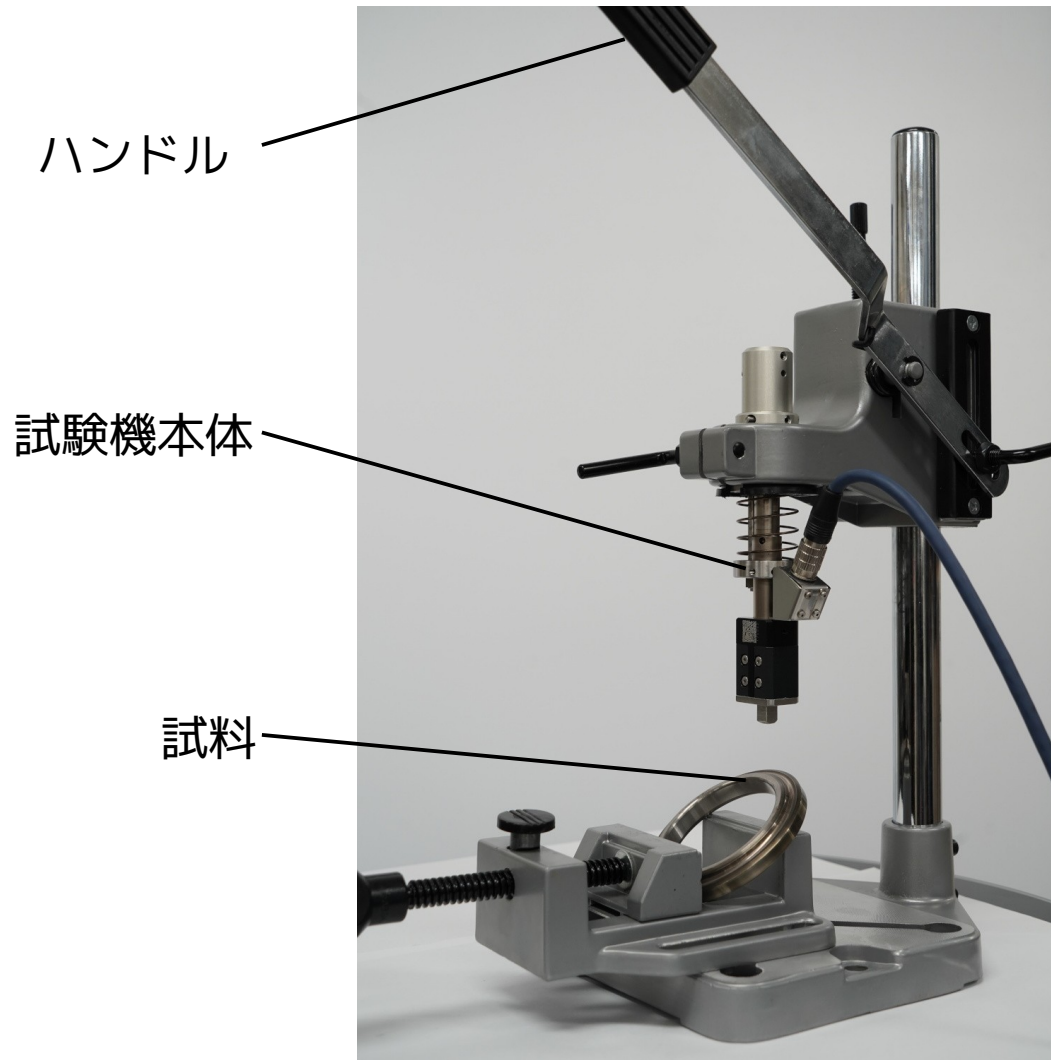


微小球反発試験機
(プロトタイプ)

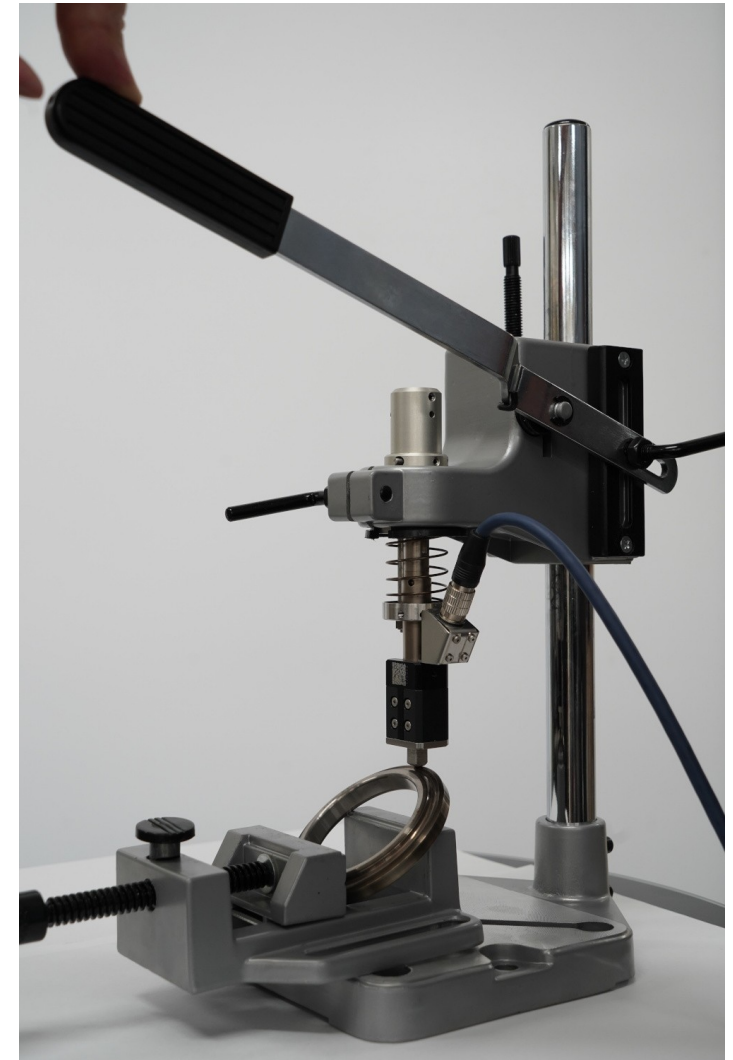
ボール破損片

ユニバーサルスタンドとの組み合わせ例

～ 複雑なパーツの面もラクラク測定 ～



1. 試験機および試料のセット



2. 試験機降下 & 試験

カスタマイズパーツで 幅広いニーズに対応



“狭小部用アダプタ”



“位置決め用スコープ”

いずれも、現在開発中の試作品です。
試験機のカスタマイズをご希望の方は、取扱店を通じて
開発チームまでお気軽にお問い合わせください。



“マウント(直付け)型表示部”



“丸棒・曲面用アダプタ”

反発係数と硬さの換算表を公開中

～ 反発係数 e を他の硬さと比較する際の目安に ～

- 硬さの換算は正確なものではありません。あくまでも目安としてお使いください。
- 換算関係は材種によっても変わります。(表は鉄鋼材料用、アルミ合金と銅合金について対応準備中)
- 換算表は予告なく変更される場合があります。

●換算表の全体は下記からダウンロードできます。

Link 微小球反発試験機用硬さ基準片と硬さ換算表
<http://www.ystl.jp/topics/?p=1334>

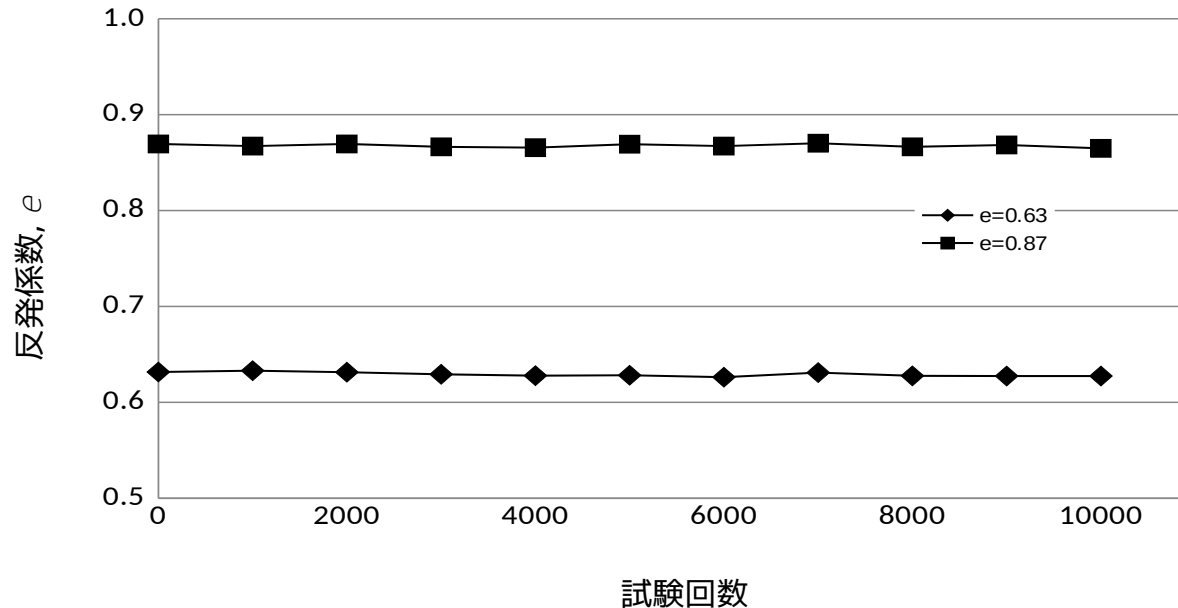


Link 山本科学工具研究社
<http://www.ystl.jp/>



ロックウェル	ピッカース	ブリネル HB10/3000		ロックウェル			ロックウェル スーパーフィシャル			ショア	リーブ®		引張強さ (近似値) MPa	ロックウェル	微小球反発
		HBS	HBW	HRA	HRB S	HRD	HR15N	HR30N	HR45N		HS	HLD			
ダイヤモンド		標準球	タングステンカーバイト球	ダイヤモンド	1/16" 球	ダイヤモンド	ダイヤモンド				タングステンカーバイト	ダイヤモンド		ダイヤモンド	アルミナ球
150kgf				60kgf	100kgf	100kgf	15kgf	30kgf	45kgf					150kgf	3mm
68	940	-	-	85.6	-	76.9	93.2	84.4	75.4	98.0	878	846	-	68	0.925
67	900	-	-	85.0	-	76.1	92.9	83.6	74.2	95.6	869	836	-	67	0.920
66	865	-	-	84.5	-	75.4	92.5	82.8	73.3	93.4	860	826	-	66	0.910
65	832	-	(739)	83.9	-	74.5	92.2	81.9	72.0	91.2	850	817	-	65	0.900
64	800	-	(722)	83.4	-	73.8	91.8	81.1	71.0	89.0	840	806	-	64	0.895
63	772	-	(705)	82.8	-	73.0	91.4	80.1	69.9	87.1	830	796	-	63	0.885
62	746	-	(688)	82.3	-	72.2	91.1	79.3	68.8	85.2	820	786	-	62	0.880
61	720	-	(670)	81.8	-	71.5	90.7	78.4	67.7	83.3	810	776	-	61	0.870
60	697	-	(654)	81.2	-	70.7	90.2	77.5	66.6	81.5	800	766	-	60	0.860
59	674	-	(634)	80.7	-	69.9	89.8	76.6	65.5	79.7	790	755	-	59	0.855
58	653	-	615	80.1	-	69.2	89.3	75.7	64.3	78.1	781	746	-	58	0.845
57	633	-	595	79.6	-	68.5	88.9	74.8	63.2	76.4	771	736	-	57	0.835
56	613	-	577	79.0	-	67.7	88.3	73.9	62.0	74.8	762	726	-	56	0.830
55	595	-	560	78.5	-	66.9	87.9	73.0	60.9	73.2	753	717	2075	55	0.820
54	577	-	543	78.0	-	66.1	87.4	72.0	59.8	71.7	744	708	2015	54	0.810
53	560	-	525	77.4	-	65.4	86.9	71.2	58.6	70.2	735	699	1950	53	0.805
52	544	(500)	510	76.8	-	64.6	86.4	70.0	57.4	68.8	707	691	1890	52	0.795

10⁴回試験による試験機評価



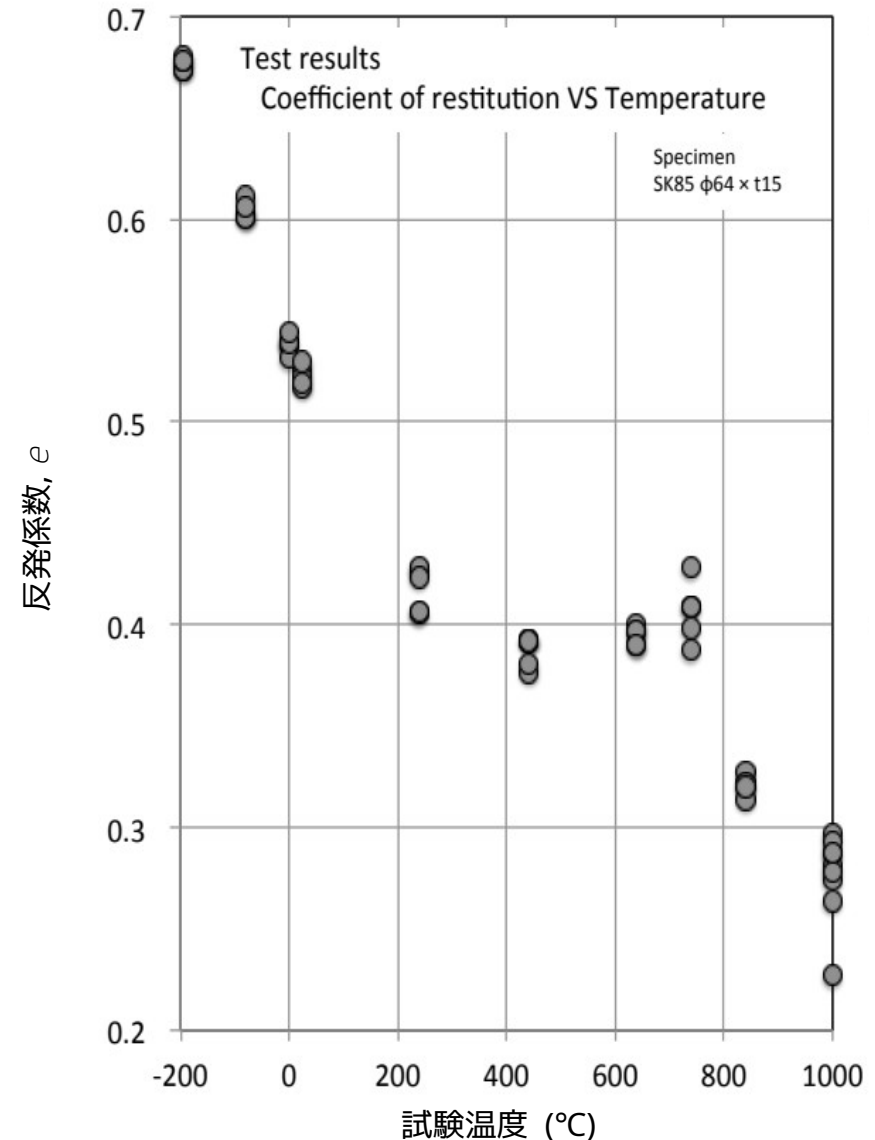
～ 耐久性と安定性もお墨付き ～

- 試験機の耐久性と安定性を確認するため、1000HV相当の硬い試験片を10000回試験し、1000回ごとに基準片(e =0.87とe =0.63)を試験して反発係数を確認しました。
- 反発係数e の変化はおよそ0.5%以内に収まっており、耐久性・安定性に問題は認められませんでした。
- 万一、球に欠けなどの問題が生じた場合でも、容易に交換することができます(有償)。

高温・低温における硬さ試験 (開発中)

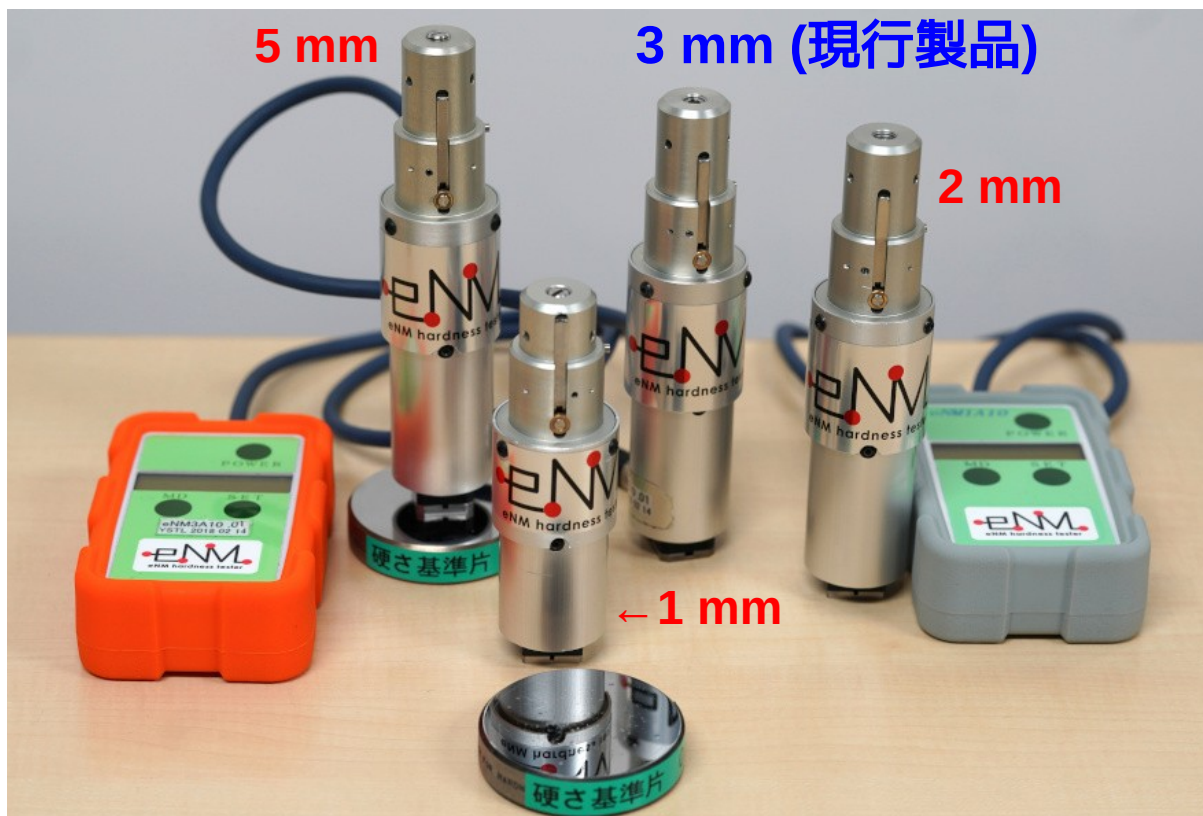
～ 高温・低温における硬さ試験の可能性 ～

- 微小球反発試験では、微小球(圧子)と試料が一瞬しか接触しないため、高温や低温環境下の硬さ試験にも適用しやすいといえます。
- 右のグラフは、実際に-196から+1000°Cまで、微小球反発試験機(プロトタイプ)を使って得られた、炭素工具鋼SK85の反発係数の温度依存性です。
- 現在開発中ですので、興味をお持ちの方は取扱店までご相談ください。



今後の製品ラインナップ（予定）

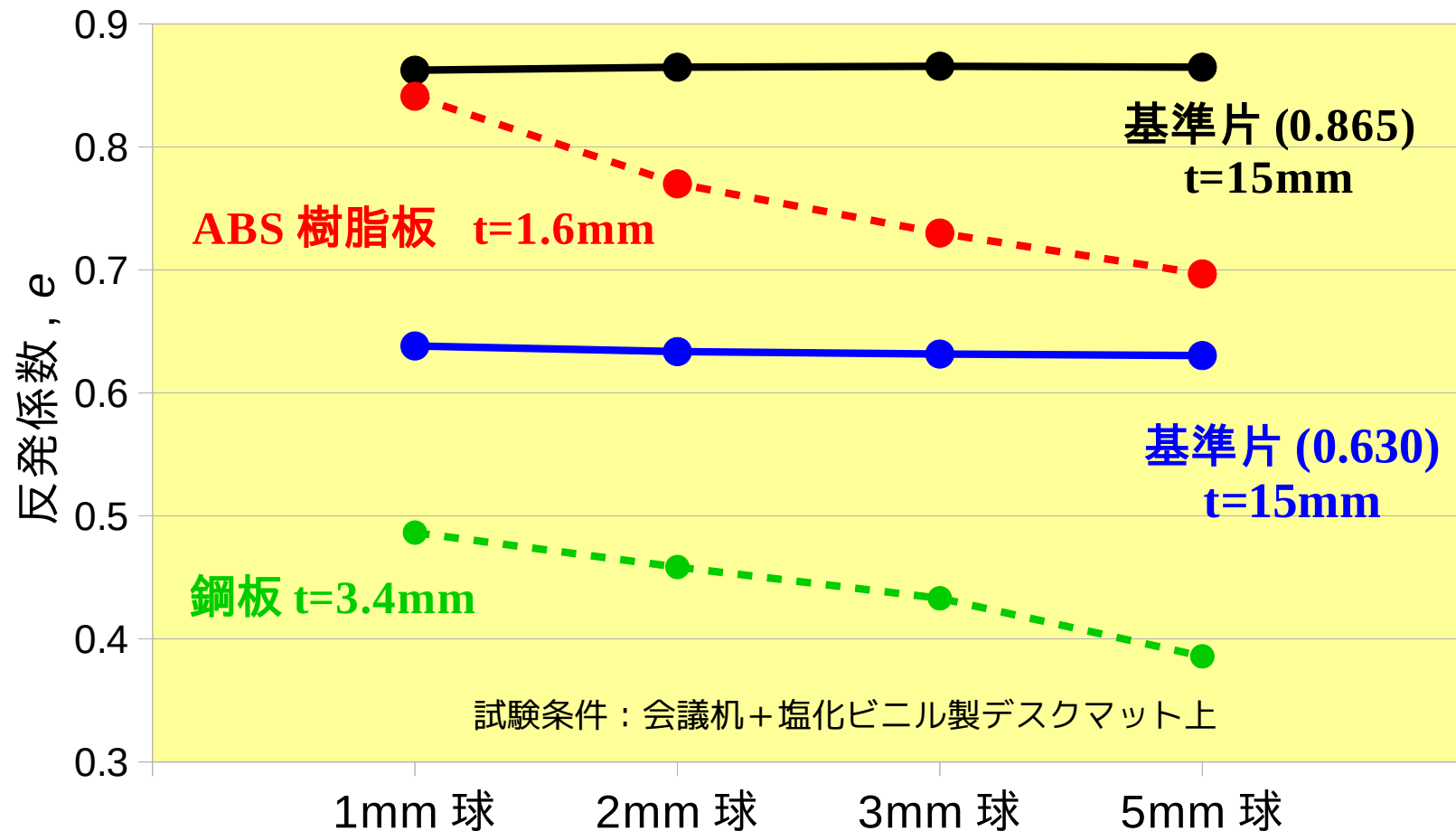
～ 最適サイズの微小球を選択できるようになります ～



- 現在、1 mm・2 mm・3 mm(現行)・5 mmの微小球を使う試験機を製作済みです。
- 小さいサイズの微小球ほど、より小さく薄い試料を試験できます。(次ページ参照)
- 大きいサイズの微小球ほど、表面粗さや凹凸を気にせず試験できます。
- 微小球のサイズを変えても、原理的に反発係数は変わりません。(硬さの相似則)

微小球サイズと反発係数の関係

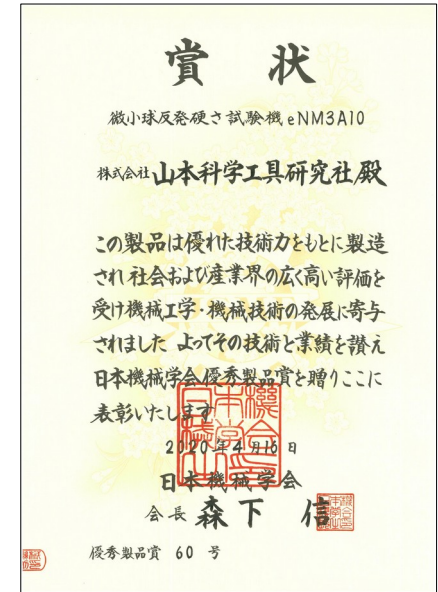
～ より薄い試料を測るため、さらに小さな微小球の製品を開発中 ～



- 微小球のサイズを変えても、原理的に反発係数は変わりません。(図の実線の基準片データ参照)
- 試料の厚みが十分であれば(目安として5mm以上)、3mmの微小球で正しい反発係数を測定できます。
- それより薄い試料を正しく測定するには、さらに小さな微小球が必要です。(図の破線の薄板データ参照)

受賞・活用事例など

～ 受賞・認定 ～



●新市場創造型標準化制度(経済産業省, 日本規格協会)に採択され, JIS開発が開始 (2022)

●日本機械学会優秀製品賞 (2019年度)…(株)山本科学工具研究社 (右上→)

●千葉ものづくり認定製品 (2020.2.6)…(有)昌永工機 (右下↓)

●船橋市ものづくりグランプリ認定事業 (平成29年度)…(有)昌永工機

●日本海事協会 NK校正証明(JIS B 7727:2000付属書2 硬さ試験機シヨア式速度比検出型, 2018.2.26)…(株)仲井精機製作所

●特許…特許第6624564号 (2019.12.6) / US Patent 10161839 (2018.12.25) / EP 3165897 (2023.7.19)

●商標…登録商標第6182900号 (2019.9.20)

～ 助成・補助金 ～

●千葉県(ちば中小企業元気づくり助成補助金、平成23～25年度)…(株)山本科学工具研究社

●千葉県(ものづくり補助金、平成25年度補正)…(株)山本科学工具研究社

～ 活用事例 (工事中) ～

●研磨工程管理

●熱処理工程管理

●事故原因調査

●出荷検査

●劣化診断

●研究開発



微小球反発試験機開発チーム

メンバー

- 赤津 行二 (フューチュアテック)
- 小幡 勉 (昌永工機)
- 門川 宏治 (エム・シー・エル)
- 小賀 正樹 (小賀技術士事務所)
- 小島 光司 (井谷衡機製作所)
- 佐藤 忠 (今井精機)
- 佐藤 陵一 (今井精機)
- 仲井 康雄 (仲井精機製作所)
- 仲井 義郎 (仲井精機製作所)
- 中村 雅勇 (千葉大学・豊橋技術科学大学)
- 牧 清二郎 (三重大学)
- 峰村 富夫 (エフティーエス)
- 宮原 健介 (物質・材料研究機構)
- 山本 卓 (山本科学工具研究社)
- 山本 正之 (山本科学工具研究社)

(五十音順)

取扱店

販売元 [開発チーム]

●(有)今井精機

<http://www.imaitester.com/>



●(株)仲井精機製作所

<http://www.nakaiseiki.co.jp/>



●(有)昌永工機

<http://syoueikouki.co.jp/>



●エフティーエス(株)

<http://www.fts-web.jp/>



●(株)フューチュアテック

<http://www.ft-hardness.com/>



ディストリビュータ

●三昌研磨材(株)

<http://www.3sho.co.jp/other/enm3a10>



●島津サイエンス東日本(株)

<https://www.sse-shimadzu.co.jp/>



この説明資料の最新版

<http://www.ystl.jp/eNM.pdf>



説明動画

<http://www.ystl.jp/eNM.mp4>



(PDF in English)

<http://www.ystl.jp/eNM-E.pdf>

