



ミュージックワイヤー
ステファン・ポレロ

STEPHEN PAULELLO

ミュージックワイヤーを作るにあたっては、素材の太さとそれに伴う許容範囲、完璧な円柱形の実現と研磨作業、巻線の規則性、腐食に対する強度、圧迫に対する強度と順応性などを考えなければなりません。さらに高品質のワイヤーを作るにあたっては、それらに加えて、優れた均衡を保つスペクトルを研究し、内部の振動減衰要因を改善し、張力を加えた後の安定の速度を上げることが必要になります。

弦の製造技術、製造の迅速さ、数多くの設備の選択、改良の積み重ね、質の高い研磨作業などを入念に追求した結果、ステファン・ポレロはすべての要求を満たした上にさらに美しさまでも兼ね合わせ、傑出した音の持続力、力学的に並はずれて規則性の高い出来栄のミュージックワイヤーを実現しました。

弦の品質と音色については、昔から音楽家や製作者、技術者の間で多くの議論が交わされてきました。しかしここ 10 年ほどは、弦の選択肢がなかったために、ピアノ製作の業界でピアノ弦は特に研究対象にはなりません。

二通りの仕上げ形態をもつ 5 種類の鋼鉄弦を提供することにより、ステファン・ポレロは、「モダン」楽器の製作や修理に、古いピアノの修復で行われているような弦の選択肢を提供する必要性を提起しながら、議論を投げかけます。

これらの弦の特性の違いはどこにあるのでしょうか？

5 タイプの弦：

最強：

- **タイプ XM**：衝撃に強い弦

激しく弾かれる(高音や低音で弦が酷使される)現代ピアノ用

(*タイププログラムで確認が必要です*)

この弦の引っ張り強度は現代の標準を超えるものです。

太さにより強度は、2600~3000N(ニュートン)/mm²です。

500g 巻：0,775 mm ~ 1,050 mm - 光沢またはニッケルメッキ

2 Kg 巻：0,975 mm ~ 1,200 mm - 光沢またはニッケルメッキ

モダン：

- **タイプ M**：繊細で明るい響き、優れた均衡を保つスペクトル

1880 年から現代までに製造されたピアノ用

(*タイププログラムで確認が必要です*)

この弦の引っ張り強度は現代の標準に相当するものです。

太さにより強度は、2200~2600N(ニュートン)/mm²です。

500 g 巻、2 kg 巻

0,725 mm ~ 1,6 mm - 光沢

0,775 mm ~ 1,6 mm - ニッケルメッキ

後期ロマン派：

- **タイプ 0**：豊かで複雑な音色

後期ロマン派の楽器用、またはモダン楽器で中音の応力が不足する場合に組み合わせて使用：中音部をタイプ 0 とタイプ M を組み合わせ、また場合によっては高音部をタイプ XM で張ることができます。

(*タイププログラムで確認が必要です*)

太さにより強度は、1700~2200N(ニュートン)/mm² です。

500 g 巻、2 kg 巻

0,725 mm ~ 1,6 mm - 光沢

0,775 mm ~ 1,6 mm - ニッケルメッキ

ロマン派：

- **タイプ 1**：チェロの響き

ロマン派の楽器用、またはモダン楽器で巻線から中音芯線への移行部分に応力が不足する場合に組み合わせて使用：タイプ 1 とタイプ 0、タイプ M を組み合わせて張ることができます。(*タイププログラムで確認が必要です*)

太さにより強度は、1200~1900N(ニュートン)/mm² です。

500g 巻：0,575 mm ~ 1,6 mm - 光沢

1,000 ~ 1,175 - ニッケルメッキ

- **タイプ 2**：ロマン派のフォルテピアノ用

フォルテピアノ用

*タイププログラム*とタイプ 2 の使用上説明の確認が必要です。製造年だけでは十分な判断基準となりません。

太さにより強度は、1000~1400N(ニュートン)/mm² です。

500 g 巻、250 g 巻

0,4 mm ~ 1,4 mm - 光沢仕上げのみ

ニッケルメッキ仕上げ

鋼鉄弦を錆から保護することは必要不可欠です。そのため現在、タイプ XM, M, 0 と 1 の 4 種類の弦で、ニッケルメッキ仕上げの弦を商品化しています。

錆びた弦は、調律するのが難しい、あるいは不可能な場合もあります。音質が悪化し、音がきつくて響きが短くなります。ニッケルメッキは鋼鉄を錆から守り弦の寿命を延ばします。同時に、明らかに違いがわかるほど魅力的な音色が加わります。

ニッケルメッキは、しばしば行われるスズメッキとは根本的に異なります。使われる技術がより複雑なのですが、そのため今日までこのような弦が生産されてこなかったのです。4μ のニッケル層はスズよりもかなり硬く、電気分解により鋼鉄と密接にくっつきます。ニッケルは決してタマを作る際にははがれたり、チップングや調律の時に鋼鉄弦が伸びたりすることはありません。

どのように選べばよいのでしょうか？

■ ピアノのメーカー、製造年や製造場所から？

これらのデータは参考になりますが、それだけでは不十分です。

■ 金属の密度から？

無視しても良い要因です。

この情報は一見重要に見えます。なぜなら弦の引っ張り強度の計算に関わるものだからです。密度は g/cm^3 で表され、材質により、最低は鉄の 7.65g/cm^3 、最高は鋼鉄の 7.95g/cm^3 です。しかしながら、最高値と最低値の引っ張り強度の違いが 4% にすぎないことから、この要因は無視しても良いと言えます。

■ 弾性率またはヤング率: E を観察して？

興味深い要因です。

弾性率は引っ張り強度の計算では小さな要因でしかありません。しかしながら振動弦のインハーモニーシティーの計算には大きく影響してきます。数々の優れた昔のピアノの弦の配置から計算されたインハーモニーシティーを考察して異なる弦の弾性の特色を調べると、時代ごとにどれも大変近いことがわかりました。

■ 応力のパーセンテージから？

決定的な基準はこれです。

この基準は、音色と弦の物理的な運動の両面に関わるものです。

音色：

弦が最大限に振動するために、スペクトルの優れた均衡を保ちつつ内部減衰をなるべく少なく抑えるためには、事実上の破壊限界張力 **Practical Breaking Load (PBL)** が音域により **50 ~75%** (後に説明あり) であるのが必要なことは、広く認められています。応力不足 (**45%以下**) は応力過剰 (**85%以上**) とともに悪い音色をもたらします。

物理的な運動：

次の 3 つの概念を理解することは必要不可欠です：

Nominal Breaking Load (NBL) 計算上の破壊限界張力

この値は鋼鉄弦が切れる前の最大の引っ張り強度にあたります。実験では、鋼鉄のタイプと太さにより $1000 \sim 3000 \text{N}$ (ニュートン)/ mm^2 という結果が出ています。

Practical Breaking Load (PBL) 事実上の破壊限界張力

一旦ピアノに取り付けられた弦は、曲げ、タマ作り、巻口作りなどの作業により疲労し強度が落ちます。そのため計算上の破壊限界張力 (Rm) より、タイプ 2 で **15%**、他のタイプでは **25%** 落として考える必要があります。これらの値は各タイプごとに下記の表にまとめて示してあります。

Elastic limit 弾性限度

張力をかけられた弦は、最終的に断弦する前に 2 つの段階を通過します：

- 伸びる段階、弦にかけられた力によって弦が伸び続けます。弦は抵抗しきれなくなると同時に固有の寸法を取り戻します。
- 伸びる段階に続く変形の段階、最後の抵抗の際一時的に存在する伸びが不可逆的な変形をもたらし、弦は調律を保つことができず、とても調子はずれになり、そして切れます。

この伸びる段階と変形の段階との境界線を越えてはなりません。この境界線が「弾性限度」と呼ばれるものです。弦のタイプにより、事実上の破壊限界張力の **85%** ほどのところに位置します。

そのようなわけで、応力不足や応力過剰は避けなければなりません。また、下記のタイププログラムで推奨されている理想的な応力を得られるよう追求する必要があります。

実際にどのように理想的な応力を得られるか？

弦長と弦の太さを測り、タイプログラムの中に書き込む。

Excel で作成されたタイプログラムは当社のインターネットサイトから無料でダウンロードできます。このタイプログラムを使えば、手動で面倒な計算をせずに済みます。

一般的な目安は次の通りです：

巻線部分

応力 50～55% が理想的です。

タイプ XM と組み合わせることで理想の実現が可能となるでしょう。

芯線部分

巻線からの移行部分の最初の芯線が 50%程度になるようにしてください。

la₃ までが 60%程度

la₄ までが 65%程度

la₅ までが 70%程度

la₆ までが 75 %程度

昔のピアノもモダンなピアノも、ほとんどの楽器について複数タイプの鋼鉄弦を組み合わせで張らなければならないことに、気づかれることでしょう。

これらの準備は多少の時間を要します。

しかしこの精密な作業は素晴らしい音色という結果につながり、整音作業の短縮にもなります。最初の弦設計からほとんど改良されていない各種のモデルのピアノについては、あらかじめ作られた弦の配置表をご参考ください。

巻線から芯線への移行部分の改善例：

Steinway モデル O (1,80 m): 巻線から芯線へ移行する部分の最初の芯線は B (ピッチ：442 Hz)

音名	タイプ	弦長 mm	太さ mm	張力 N	応力 %
B	タイプ M	1110mm	1,025mm	491, 1 N	34.07
B	タイプ 0	1110mm	1,025mm	491, 1 N	39.94
B	タイプ 1	1110mm	1,025mm	491, 1 N	50.87
B	タイプ 2	1110mm	1,025mm	491, 1 N	60.56

タイプ XM は巻線から芯線への移行部分の中音芯線には使えません。

タイプ M を使うとしたら、応力のパーセンテージが不足します。

タイプ 0 を使うとしたら、張力は変わりませんが応力は 39.94% となりまだ不足です。

タイプ 1 を使うとしたら、張力は変わらず応力は 50.87% となり、満足できる値です。

タイプ 2 を使うとしたら、張力は変わらず応力は 60.56% となり、これも満足できる値です。

しかしながらこの場合、モダン楽器にはタイプ 2 は推奨されません。

タイプ 2 の音色はかなり独特なので、他の弦と調和が取れにくいからです。

1880 年以降の楽器にタイプ 2 を組み合わせて使うことは推奨されません。

→ 最終的に、芯線の始めの弦にタイプ 1 を選びました。

Practical Breaking Load 事実上の破壊限界張力
 = NBL (Nominal Breaking Load) 計算上の破壊限界張力 - 25% (タイプ2の場合は-15%)

タイプ XM			タイプ M			タイプ 0			タイプ 1			タイプ 2		
N°	∅	PBL	N°	∅	PBL	N°	∅	PBL	N°	∅	PBL	N°	∅	PBL
									9	0,575	373,93	5	0,4	158,00
									9,5	0,6	402,91	5,5	0,425	177,00
			12	0,725	762,28	12	0,725	674,66	10	0,625	432,58	6	0,45	197,00
			12,5	0,75	810,79	12,5	0,75	716,69	10,5	0,65	462,90	6,5	0,475	217,00
13	0,775	1048	13	0,775	862,20	13	0,775	759,60	11	0,675	493,83	7	0,5	238,00
13,5	0,8	1088	13,5	0,8	914,96	13,5	0,8	803,37	11,5	0,7	525,31	8	0,525	261,00
14	0,825	1154	14	0,825	969,23	14	0,825	847,95	12	0,725	557,31	8,5	0,55	283,00
14,5	0,85	1198	14,5	0,85	1020,77	14,5	0,85	893,31	12,5	0,75	589,78	9	0,575	307,00
15	0,875	1354	15	0,875	1077,19	15	0,875	939,41	13	0,775	622,68	9,5	0,6	331,00
15,5	0,9	1384	15,5	0,9	1134,85	15,5	0,9	986,23	13,5	0,8	655,96	10	0,625	356,00
16	0,925	1422	16	0,925	1193,99	16	0,925	1033,71	14	0,825	689,58	10,5	0,65	381,00
16,5	0,95	1514	16,5	0,95	1256,74	16,5	0,95	1081,84	14,5	0,85	723,50	11	0,675	407,00
17	0,975	1582	17	0,975	1315,64	17	0,975	1130,57	15	0,875	757,66	11,5	0,7	433,00
17,5	1	1649	17,5	1	1378,08	17,5	1	1179,86	15,5	0,9	792,03	12	0,725	460,00
18	1,025	1717	18	1,025	1441,66	18	1,025	1229,69	16	0,925	826,57	12,5	0,75	488,00
18,5	1,05	1786	18,5	1,05	1506,67	18,5	1,05	1280,02	16,5	0,95	861,22	13	0,775	516,00
19	1,075	1855	19	1,075	1572,80	19	1,075	1330,81	17	0,975	895,94	13,5	0,8	544,00
19,5	1,1	1924	19,5	1,1	1646,81	19,5	1,1	1382,02	17,5	1	930,70	14	0,825	573,00
20	1,125	1994	20	1,125	1715,06	20	1,125	1433,62	18	1,025	965,44	14,5	0,85	601,00
20,5	1,15	2064	20,5	1,15	1792,13	20,5	1,15	1485,59	18,5	1,05	1000,12	15	0,875	631,00
21	1,175	2135	21	1,175	1854,63	21	1,175	1537,87	19	1,075	1034,69	15,5	0,9	660,00
21,5	1,2	2205	21,5	1,2	1934,39	21,5	1,2	1590,43	19,5	1,1	1069,12	16	0,925	690,00
			22	1,225	2007,43	22	1,225	1643,25	20	1,125	1103,36	16,5	0,95	720,00
			22,5	1,25	2081,46	22,5	1,25	1696,28	20,5	1,15	1137,36	17	0,975	750,00
			23	1,3	2236,37	23	1,3	1818,76	21	1,175	1171,09	17,5	1	780,00
			23,5	1,35	2396,14	23,5	1,35	1944,18	21,5	1,2	1204,49	18	1,025	811,00
			24	1,4	2559,60	24	1,4	2072,39	22	1,225	1237,52	18,5	1,05	841,00
			24,5	1,45	2733,93	24,5	1,45	2203,25	22,5	1,25	1270,14	19	1,075	872,00
			25	1,5	2905,85	25	1,5	2336,61	23	1,3	1353,87	19,5	1,1	902,00
			25,5	1,55	3068,13	25,5	1,55	2472,34	23,5	1,35	1438,55	20	1,125	933,00
			26	1,6	3254,19	26	1,6	2610,29	24	1,4	1523,99	20,5	1,15	963,00
									24,5	1,45	1610,02	21	1,175	994,00
									25	1,5	1696,46	21,5	1,2	1024,00
									25,5	1,55	1783,14	22	1,225	1054,00
									26	1,6	1869,88	22,5	1,25	1084,00
												23	1,3	1158,00
												23,5	1,35	1232,00
												24	1,4	1308,00



金属密度の平均値 :

- タイプ XM: 7.85 g/cm³
- タイプ M: 7.85 g/cm³
- タイプ 0: 7.81 g/cm³
- タイプ 1: 7.85 g/cm³
- タイプ 2: 7.82 g/cm³

ヤング率 : E

- タイプ XM: 202 Gpa
- タイプ M: 202 Gpa
- タイプ 0: 202 Gpa
- タイプ 1: 202 Gpa
- タイプ 2: 202 Gpa