

衝突・微細化・拡散機能で→Ultra-super Homogeneous

→→異種流体の超均質混合を図る！！

『対抗衝突——微細・拡散混合』機能による——

“ナノ・ミキサー”

「nano-mixer.com」は、登録ドメインです！！

——(nano-mixer)

特徴概要

- (1) 「ナノ・ミキサー」には、①1エレメント仕様の——ニップル構造と、②多連装仕様の——パイプ構造の、2種類が用意されております。
- (2) 供給圧力条件にも拠りますが、市販の「2分割式ミキサー」に対して、同じ3エレメント仕様の場合は、「 $(4^3/2)^3 \leq 32768$  倍」の超混合性能(=分散度)を有しております。《【註】理論上の推定値ですので、参考値と考えて下さい。》
- (3) 同じ構成でも、供給圧力 $\Delta P$ を増加させるに連れて、「 $2\sqrt{\Delta P}$ 」に比例して、混合性能は向上します。
- (4) 負圧マイクロ・バブル～高圧マイクロ・バブルの発生器として、養殖、洗浄、燃料への活用も可能です。
- (5) 更には、流体中に、比重差の大きい物体が混在している場合は、比重の大きい物体の粉碎機能を有しています。



「気体/気体」、「気体/液体」、「液体/液体」、「粉体/液体」等々の各種流体の“温度・濃度”の均質化を図る——「スーパー・ミキサー (@super-mixer.com)」（混合器）」として、

- ① 36 (個/1エレメント) のジェットから構成される——「スワール・ミキサー (@swirl-mixer.com)」【特許】
- ② 4～6個のノズルからの噴流が、互いに対抗して衝突する「ナノ・ミキサー (@nano-mixer.com)」【特許申請】
- ③ 「ナノ・ミキサー」に自己吸引作用を持たせた——「ジェット・ミキサー (@jet-mixer.com)」【特許申請】

の3型式が、用意されております。

混合原理

《基本動作》図 1 に、『ナノ・ミキサー』の原理図を示す。「 $\phi d$ 」のジェットから、 $\Delta P$ (MPa)の圧力差で噴出させると、凡そ、「 $V_j$  (m/sec) =  $\sqrt{\Delta P}$ 」の速度で噴流が供給され、その2倍の速度で、互いの流体が衝突する。高圧で、流体を噴出させる機器として、「①高圧洗浄機」や、更に、水を高圧噴射させて、金属の他、セラミックス等の難切削剤を切断加工する、「②ウォーター・ジェット・カッター (切断機)」や、高速気体により浮遊固体を粉碎・微粒化する「③ジェット・ミル (破碎機)」が知られている。

その他に、物理学の最先端で、光速で、陽子等を加速して衝突させる「④加速器」で、クオークやレプトン等の素粒子、あるいは、反粒子の生成実験が行われている。

当該『ナノ・ミキサー』は、図に示すごとく、噴出ジェットを直角に対抗させ、円錐状の頂点に近い

“極めて狭い空間”で、互いの噴流を衝突・混合させる原理で、衝突速度の増加、即ち、『ナノ・ミキサー』においては、供給圧力 {=ジェットの入力圧力} を増加させるに連れて、均質混合のみならず、上記の「③」や「④」と同じく、“物質を粉砕する”機能を有していると言えます。

しかも、2つの流体を対抗で衝突させるため、その衝突速度は、単純加算の「 $2 \cdot V_j$  (m/sec) =  $2 \cdot \sqrt{\Delta P}$ 」で有り、単一で、同じ衝突速度を発揮させる場合の、「1/4」の圧損で済みます。

ジェットからの吐出流体は、当該衝突領域で、微細化・拡散混合が図られると共に、流路が直角に曲げられ、円錐拡大する結果、“当該渦流領域”で生成される激しい渦流により、攪拌・混合されつつ、吐出されます。

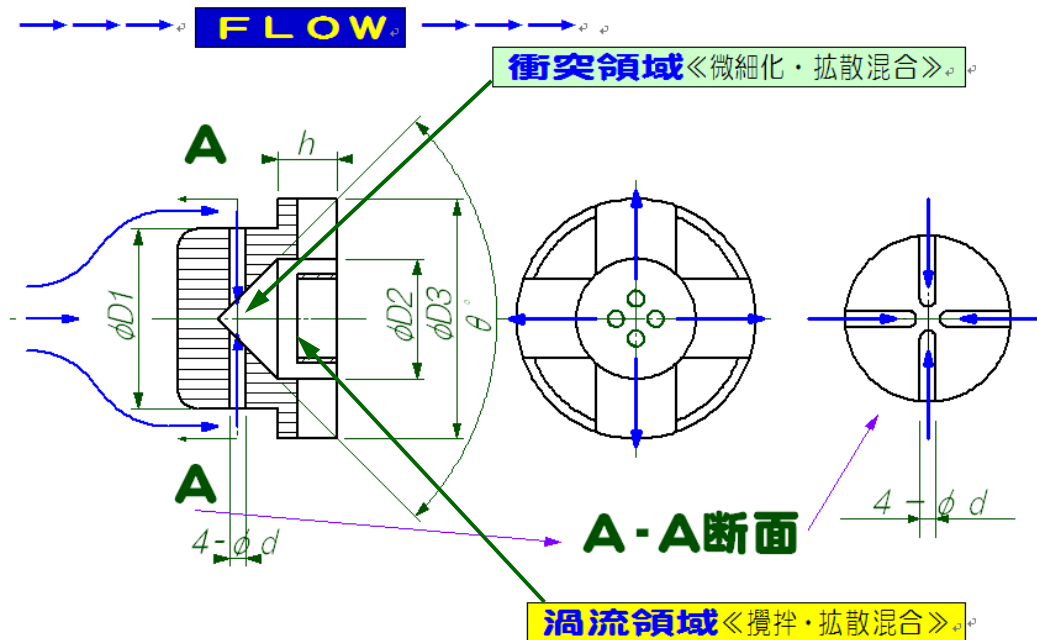


図1 「ナノ・ミキサー」作動原理

このように、1個のエレメントで、強力な『衝突分散』を図る事により、①異種流体の混合、②多成分流体の均質化、③流体温度の均一化等々を、超高効率で行います。

≪適用流体>>適用流体は、ポンプで圧送可能な「気体～液体」です。「気体」のような低粘度流体の場合は、容易に流体の吐出速度を大きく出来、速度減衰も小さいため、ジェットの噴出速度は、音速 {≒  $340$  (m/sec) =  $1,224$  (km/hour)} に至るまで可能です。この結果、衝突速度は、その2倍の “ $2,448$  (km/hour)” ですので、仮に、当該速度で機能させた場合は、均質混合のみならず、流体中の微粒子は、破壊・粉砕される事と成ります。ここに、当該商品名称——『ナノ・ミキサー』の由来が有ります。

一方、「重油」のような高粘度流体の場合は、ジェット流出後の速度減衰が大きいため、衝突後の攪拌作用は減退しますが、衝突による“微細化&拡散混合”作用は、機能発揮します。

なお、市販の「2分割ねじれ板」方式のミキサーでは、粘度に関わらず、渦流や噴流による『攪拌・衝突』機能は低く、基本的には、ねじれ板による“分散効果”のみによる混合機能しか有しておりません。

しかも、市販の2分割型では、「面(=流れと直交する平面)の混合」作用のみであるのに対して、『ナノ・ミキサー』は、円錐拡大(混合)領域で、「時間(=流れ方向)の混合」も効率的に行える特徴を有します。

### 市販品との性能比較

前述のように、『ナノ・ミキサー』の混合原理は、4 {標準仕様} 以上の複数個の分散ノズルがそれぞれ対抗して、流体を衝突拡散させる事です。このため、ジェットからの噴流速度を大きくさせる {=圧力負荷を大にする} に比例して、その混合能力は無限に向上します。このためには、組み合わせ適用する“ポンプ”の選択も重要ですが、この点が、市販されている、二分割方式の“スタティック・ミキサー”や、(株)技術開発総合研究所の“スワール・ミキサー (@swirl-mixer.com)【特許】”と、大きく異なります。『ナノ・ミキサー』は、適正なポンプと組み合わせる事で、最高の混合性能を得る事が可能で、気体、

液体に関わらず、均質混合を行います。

一例として、『ナノ・ミキサー』のエレメント個数による単純分散度と予測分散度の関係を、表 1に示します。なお、「衝突分散度」は印加圧力「 $\Delta P$ 」の増加により比例して増加しますので、ここでは、一つの参考として、0.1 (MPa)の吐出圧力時の予測分散度を示して有ります。

**表 1 予測分散度の比較**

エレメント数	1	2	3	4	5	6	7	8	
市販スタテック・ミキサー	2	4	8	16	32	64	128	256	
ナノ・ミキサー	単純分散度	4	16	64	256	1024	4096	16384	65536
	衝突分散度	16	2566	4096	65536	1048576	1677216	268435456	4294967296
スワールミキサー単純分散度	36	1296	46656	1679616	60466176	$2.177 \times 10^9$	$7.836 \times 10^{10}$	$2.821 \times 10^{12}$	

【註一①】「市販スタテック・ミキサー」は、2分割エレメントの例を記す。

【註一②】「ナノ・ミキサー」の実績性能は、0.1 (MPa)圧損時に、『単純分散度～衝突分散度』の範囲と予測。

【註一③】「スワール・ミキサー」の場合は、必要エレメント数は、「～5個」程度。

**マイクロ・バブル発生性能**

液体中に、気体を細分化して混合させた状態は、一般に、“**マイクロ・バブル**”と呼称されます。マイクロ・バブルの機能を、その粒径を基準にして評価する事が一般的ですが、その大きさと機能は、その存在状態で大きく異なるため、(株)技術開発総合研究所では、(イ)負圧マイクロ・バブル、(ロ)常圧(=大気圧近傍)マイクロ・バブル、(ハ)高圧マイクロ・バブル、の三種類に分類しています。

それぞれの機能に付いての詳細説明は割愛させていただきますが、当該『ナノ・ミキサー』は、あらゆる流体を均質混合させる事がその機能のため、「(ロ)～(ハ)」の状態のマイクロ・バブル生成は勿論の事、『(イ)』の負圧マイクロ・バブル生成にも適用可能です。

なお、『(イ)負圧マイクロ・バブル』発生器としてご使用される場合は、「エレメント数=1個」で機能します。写真2は、NMN形式で、水道水圧力で、“負圧マイクロ・バブル”を発生させた状態です。



**写真2 「ナノ・ミキサー」による“負圧マイクロ・バブル”発生例**

**水エマルジョン燃料生成性能**

『ナノ・ミキサー』は、気体、液体に関わらず、均質混合を行います。重油中に、“水”を混入して乳化させて、燃料経済性を改善しつつ、煤やNOxの低減を図る技術が有ります[[ja.wikipedia.org/wiki/](http://ja.wikipedia.org/wiki/)]、[<http://response.jp/article/2010/09/22/145392.html>]。このような「水-燃料」混合燃料を、水エマルジョン燃

料と呼びます。しかし、「水」と「燃料（油）」を均質混合して、エマルジョン化を図る事は容易でなく、一般的に、①界面活性剤を混在させたり、②外部エネルギーにより強制攪拌を行ったりしていますが、「界面活性剤」は価格が高い点が難点です。

この『**ナノ・ミキサー**』は、前述のように、対抗ノズルによる“強力な噴流”の衝突が、互いの流体を微細化して拡散混合します。その効果は、供給圧力「 $\Delta P$ 」を増加させるに連れて、「 $2\sqrt{\Delta P}$ 」に比例します。前述のように、原理的には、(イ) 高圧水で、セラミックス等の難切削材を切断する“ウォーター・ジェット”や(ロ) 陽子等の荷電粒子を加速・衝突破壊して、クオーク等の素粒子を生成させる“加速器”と同じです。即ち、供給圧力「 $\Delta P$ 」が1 (MPa)の場合の衝突速度は、凡そ144 (km/hour)で基本設計して居りますが、「 $\Delta P$ 」を10 (MPa)とすると、その衝突速度は、凡そ1440 (km/hour)と成ります。

このような激しい衝突速度で、互いのジェットからの噴流を衝突させるため、燃料中に混在する“水”の微粒化を実現し、水エマルジョン燃料を瞬時に生成します。必要エレメント数は、「1~3個」で十分と考えますが、ご使用されるポンプ能力によっても異なりますので、実際に試験して、確定させる事を推奨します。

**標準構成例**

**【ニップル型式[N]】**

「ニップル構成 (NMN)」形式の場合は、構成される「ミキサー・エレメント」は、基本的には1個で、(イ) 簡単なミキシングや、(ロ) 高圧ミキシング、(ハ) 負圧マイクロ・バブル生成、(ニ) 気液一根圏灌水システム等々に使用されます。

また、基本的には、「ミキサー・エレメント」は、圧入構成されておりますので、分解は不可ですが、ユーザー様のご要望に、自由に、対応しますので、忌憚なくご相談下さい。

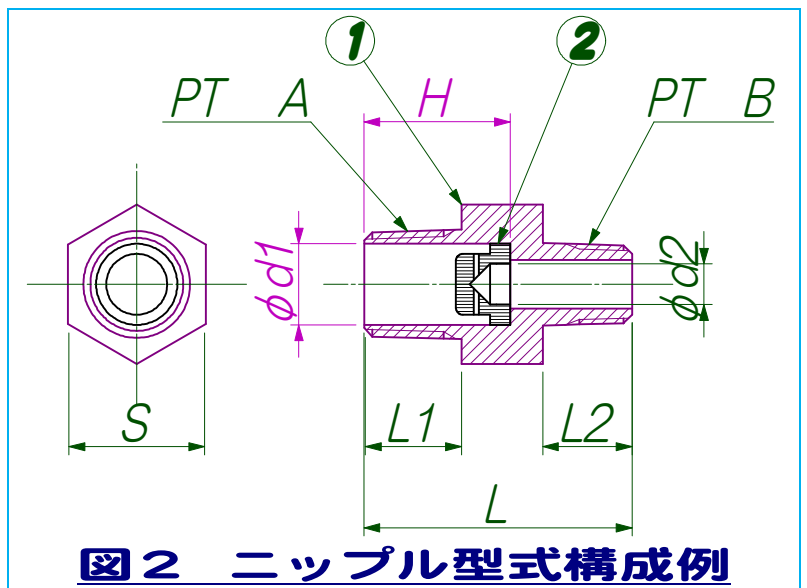


図2 ニップル型式構成例

表2 ニップル形式の寸法概要

型 式	$\phi d1$ (mm)	H (mm)	$\phi d2$ (mm)	S (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L (mm)	Rc A [入口]	Rc B [出口]
NMN-001	13	18	6	21	13	12	35	3/8	1/4
NMN-002	13	18	6	21	13	12	35	3/8	1/4
NMN-005	16	20	9	26	16	13	39	1/2	3/8
NMN-010	22	22	12	32	18	16	45	3/4	1/2
NMN-020	26	25	12	38	20	18	50	1	3/4
NMN-030	26	25	15	38	20	18	50	1	3/4

【註一①】「NMN-030」寸法は、適用流体粘度が低い場合のみ。

**【パイプ(両長ニップル)型式[P]】**

「パイプ(両長ニップル)構成 (NMP)」形式は、ミキサー・エレメントが、「3~5(個/台)」構成の多段ミキサーです。図3に、その構成図(例)を、また、表3には、外観寸法(参考)を示します。

単一エレメントの場合、表1に示すごとく、0.1 (MPa)供給差圧での予測分散度は、凡そ、“16”で、衝突・拡散による混合の偏りを生じる恐れが有ります。一方の、多段エレメント構成の場合は、エレメント間の流路分配により不均一の是正が図られるため、『**ナノ・ミキサー**』への供給圧力が同じ場合、均一度に優れる特徴を有しています。なお、粘度の高い流体の場合は、「**スワール・ミキサー**」の方が機械的分散度に優れる背景から、『**ナノ・ミキサー**』よりも優れる傾向に有ります。

“衝突・拡散”が基本混合原理のため、供給圧力を増加すればするほど、混合度が向上するため、適用

ポンプの選択が重要で、ユーザー様の条件にあわせたポンプを選択・提供しますので、ご相談下さい。

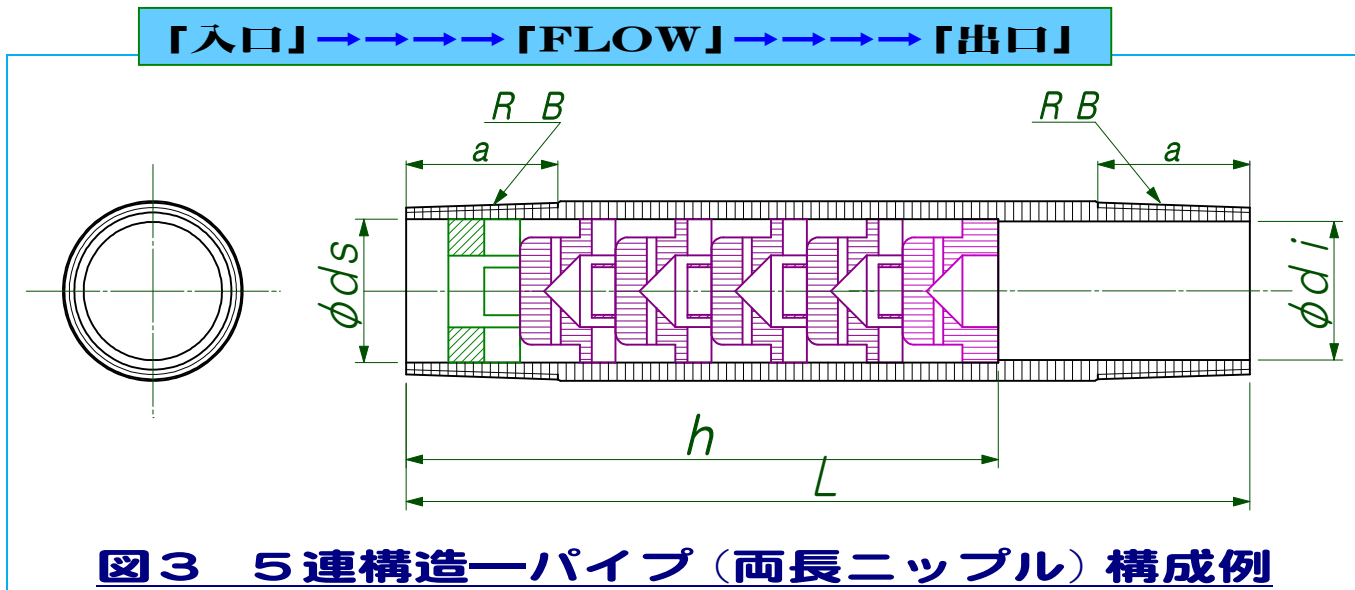


図3 5連構造一パイプ（両長ニップル）構成例

表3 パイプ（両長ニップル）形式の寸法概要

形 式	R <sub>e</sub>		L(mm)	h(mm)	φ di(mm)	φ ds(mm)
NMP-001	R3/8	(φ13.8(mm))	100	64	14.5	14.0
NMP-002	R3/8	(φ13.8(mm))	100	64	14.5	14.0
NMP-005	R1/2	(φ21.7(mm))	100	90	17.5	18.0
NMP-010	R3/4	(φ27.2(mm))	125	121	23.0	23.6
NMP-020	R1	(φ34.0(mm))	150	126	28.4	29.0

【註】各寸法は、一例を示したもので、ユーザー様の仕様により異なります。

### システム構成

『ナノ・ミキサー』を機能させるには、“供給流体圧力”が必要です。すなわち、(イ) 水道水のように予め加圧されている流体か、(ロ) 若しくは、ポンプにより流体供給する必要があります。

前述のように、基本原理は、対抗するジェットで“衝突拡散”が図られるため、同じ圧損 {=低い圧損} で、2倍の速度で衝突し、互いの流体を微細化しつつ、混合が図られます。即ち、前述のように、衝突速度 V(m/sec) は、供給圧力 (=ジェット前後の圧力) ΔP(MPa) と下記の関係にあります。

$$V(m/sec) \propto 20\sqrt{(10\Delta P)} \dots\dots(1)$$

その衝突エネルギー E(kJ) は、流体の密度を “ρ (kg/m<sup>3</sup>)” とすると、以下の式で与えられます。

$$E(kJ) \propto (\rho \cdot V^2 / 2) \propto (2 \times 10^3 \rho \cdot \Delta P) \dots\dots(2)$$

分散度 (=均質混合度) は、この “E” に比例するため、流体の供給圧力 ΔP とは一次比例の関係にあります。即ち、供給圧力を大にすればするほど、混合度を高める事が可能です。

このため、“水道水” の場合は、最大供給圧力が「~0.3(MPa)」ですので、その条件での機能と成りませんが、各種の流体では、①流量、②粘度、③腐蝕性・・・によって、適用ポンプを適正に選択する事により、ユーザー様の希望される性能を発揮する事が可能です。【ポンプの選定が重要です!!】

≪【註】(株)技術開発総合研究所では、最適な——『ナノ・ミキサー』+『ポンプ』のシステム構成も可能です。≫

### 適用流体と圧損

【適用流体】 『ナノ・ミキサー』の標準構成材質は、①ミキサー・エレメント部が「SUS316」、②ハウジングが「SUS304」です。標準品をご使用される場合は、当該材質を腐蝕しない流体に適

用して下さい。なお、特注にて、樹脂製、ハステロイC等の各種材質でのご提供も可能ですが、テフロン等の樹脂製の場合、使用条件にも拠りますが、長期使用の場合、ノズル部の磨滅が懸念されますので、注意が必要です。このため、分散度を重視される場合は、供給差圧が小さくとも機能する——「スワール・ミキサー (@swirl-mixer.com)」をご選択下さい。

【流路圧損】 図4に、「流体=水」を用いた場合の、「NMP-005 (0.1(MPa)圧損時流量≒5(ℓ/min)」形式の、スワール・エレメント個数をパラメータに、『差圧ΔP(MPa)と流量Q(ℓ/min)』の関係を示す。図より明らかな如く、大凡、『 $Q \propto \sqrt{\Delta P}$ 』の関係に有る事が分かる。

また、エレメント数を増加させると、図5より明らかな如く、「エレメント数=N」の時の、0.1(MPa)圧損時流量 $Q_{N,0.1}$ (ℓ/min)は、「エレメント数=1」の時の、同じく、0.1(MPa)圧損時流量 $Q_{0.1}$ (ℓ/min)とは、大凡、下記の一次式の関係に有る事が分かる。

$$Q_{N,0.1} \div Q_{0.1} \approx 0.46N \dots (3)$$

「NM\* - ###」の型式表示に置いて、「###」部が、「1エレメント」の場合の——0.1(MPa)圧損時流量 $Q_{0.1}$ (ℓ/min)を表記して居りますが、5エレメント装着の「 $Q_{5,0.1}$ 」場合は、下記の式で、概算されます。

$$Q_{5,0.1} \div 0.6 Q_{0.1} \dots (3)$$

この結果、「 $Q_{0.1}$ (ℓ/min)」の同一流量を処理する場合は、「 $\Delta P \times \div (1/0.6)^2 \times 0.1$ (MPa)  $\div 4.6$ (MPa)」の圧送能力が必要です。

しかも、処理流体の粘度が高い場合は、更に、必要吐出圧力が必要ですので、ポンプの選択には、十分注意して下さい。

【メンテナンス】 『ナノ・ミキサー』は、目詰まり等の障害を起こさない限り、一度購入すれば、半永久的に、劣化等のトラブル無で、機能します。

即ち、格別のメンテナンスは不要ですが、固着性流体や微粒子混入流体の場合は、(イ) 購入の際に、「分解組立型」をご選択戴くと共に、(ロ) ご使用条件によっては、「1(回/年)」の分解洗浄を行う事を推奨します。

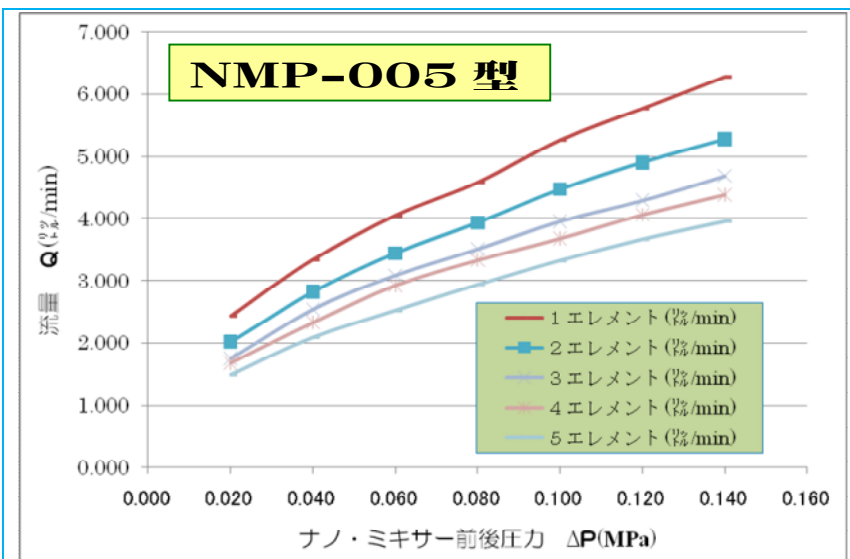


図4 流路圧損特性(例)

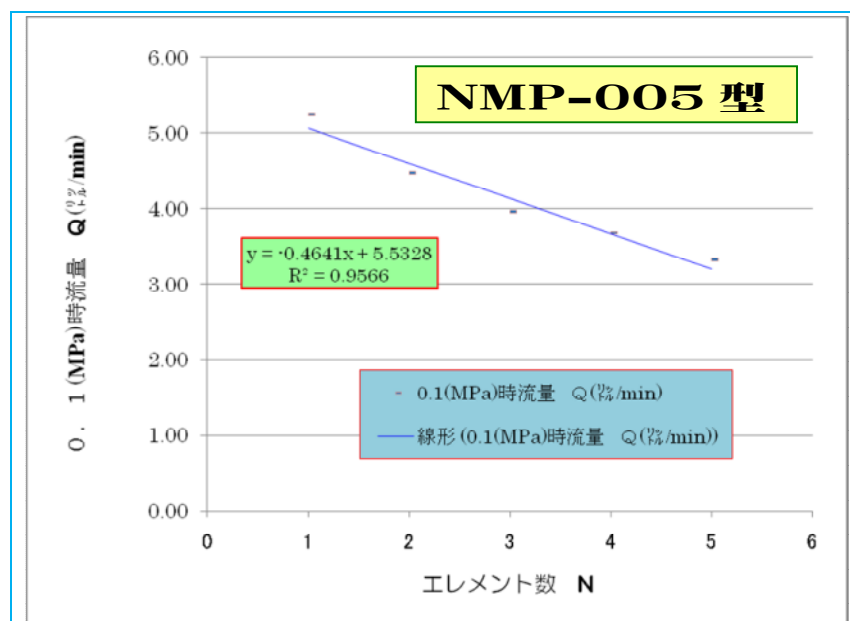


図5 流路圧損特性(例)

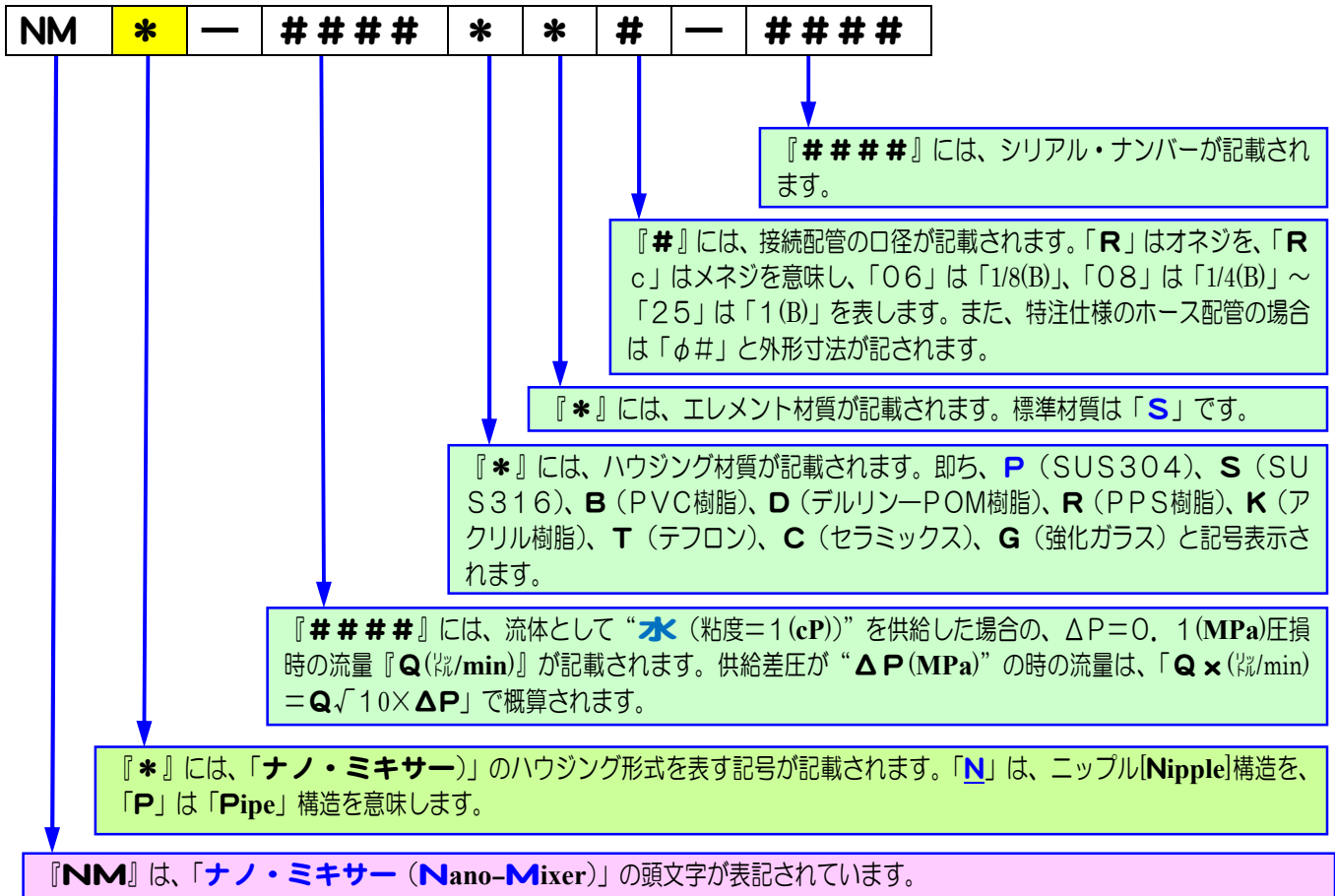
表4 流路特性(例)

型 式	0.1時流量 (N=1)	0.1時流量 (N=5)
NMP-001	1.07(ℓ/min)	0.60(ℓ/min)
NMP-002	2.53(ℓ/min)	0.93(ℓ/min)
NMP-005	5.25(ℓ/min)	3.33(ℓ/min)
NMP-010	10.8(ℓ/min)	7.76(ℓ/min)
NMP-020	21.1(ℓ/min)	14.8(ℓ/min)

**型式表示**

『NM\*-###』の型式表示において「NM」は、「Nano Mixer」の頭文字を示しております。  
 また、「\*」には、構造形式記号が記載されます。「###」は水相当（粘度＝1 (cPs)）の流体を、差圧＝0.1 (MPa)で機能させた場合の、『ナノ・ミキサー』の処理流量「###(litre/min)」が表記されております。そして、「\*」には、①ハウジング及び②ミキサー・エレメントの材質を表す「記号」を記載しております。

**表2 「ナノ・ミキサー」の型式表示 (例)**



-----性能改善と向上のために、仕様変更されることが有りますので、ご容赦下さい-----

(株)技術開発総合研究所®の開発商品は、『生産物賠償責任保険(あいおい損害保険㈱)』により責任保証(1994年以來)されております。

**※技術の直送便——直販事業部**【E-mail: [staff@techno-direct.com](mailto:staff@techno-direct.com)】

**【研究・開発・販売】 (株)技術開発総合研究所®**

【〒305-0042 茨城県つくば市下広岡 725-29 TEL.(029)857-6010, FAX.(029)857-8357】

E-mail: [y-hommoh@super-mixer.com](mailto:y-hommoh@super-mixer.com), [y-hommoh@advanced-techno-future.com](mailto:y-hommoh@advanced-techno-future.com)

**【開発・製造】 (有)イワセ** 【TEL.(0256)92-3750, FAX.(0256)92-2859】

【〒959-0214 新潟県燕市吉田法花堂 1965-2 E-mail: [yiwase@echigo.ne.jp](mailto:yiwase@echigo.ne.jp)】

「ナノ・ミキサー」の商品化に当たり、『新潟県燕市—平成22年度燕市中小企業新製品開発及び企業連携支援事業』によるご支援を戴いた事に、感謝の意を表します。

→→→→「(株)技術開発総合研究所」は、情熱ある中小企業に、“**心ときめく夢**”を提供し、  
 “**明日に煌(きらめ)く技術**”を育成します。←←←←

- ※ 特注機を委託開発したい場合は→→→→→[y-hommoh@try-max.com](mailto:y-hommoh@try-max.com)
- ※ 特許技術を開発したい場合は→→→→→[y-hommoh@patent-max.com](mailto:y-hommoh@patent-max.com)