

値が約 40[kgfc_m]向上したことが分かる。また、タイプ 1 での最高起動トルク値が印加電圧 200[V_{pp}]で出力に対して、タイプ 3 ではその値を印加電圧 140[V_{pp}]で出力している。さらに、タイプ 2 では印加電圧 140[V_{pp}]で起動トルクが約 30[kgfc_m]に対して、タイプ 3 では約 80[kgfc_m]出力している。このことにより、圧電素子を両面に貼り付けることで、片面だけに貼り付けるよりも起動トルクは 2 倍以上になることが分かる。しかし、印加電圧が上がっていくにつれて起動トルクは 2 倍よりも低くなっていく。これはタイプ 1 とタイプ 3 を比較しても同じ結果になっている。

次に起動トルクー印加電圧特性より、各タイプのステータに押し付け力が一定であるとき、ある印加電圧の値より一定になる。この原因として考えられるのは、超音波モータは摩擦駆動モータであるため、押し付け力が弱いと大きな出力トルクが発生しないことにある。つまり、印加電圧を上げていくことにより、圧電素子から出力する力が大きくなり進行波から発生する力が大きくなるが、ロータの弾性率は一定あり、押し付け力が変わらないため摩擦が増えていかなく、ステータとロータが滑ってしまっている。よって、出力トルクが上がっていかなくなる。

これらの結果から、出力トルクを向上させるには、印加電圧と押し付け力及びロータの弾性率によることが大きいと考えられる。

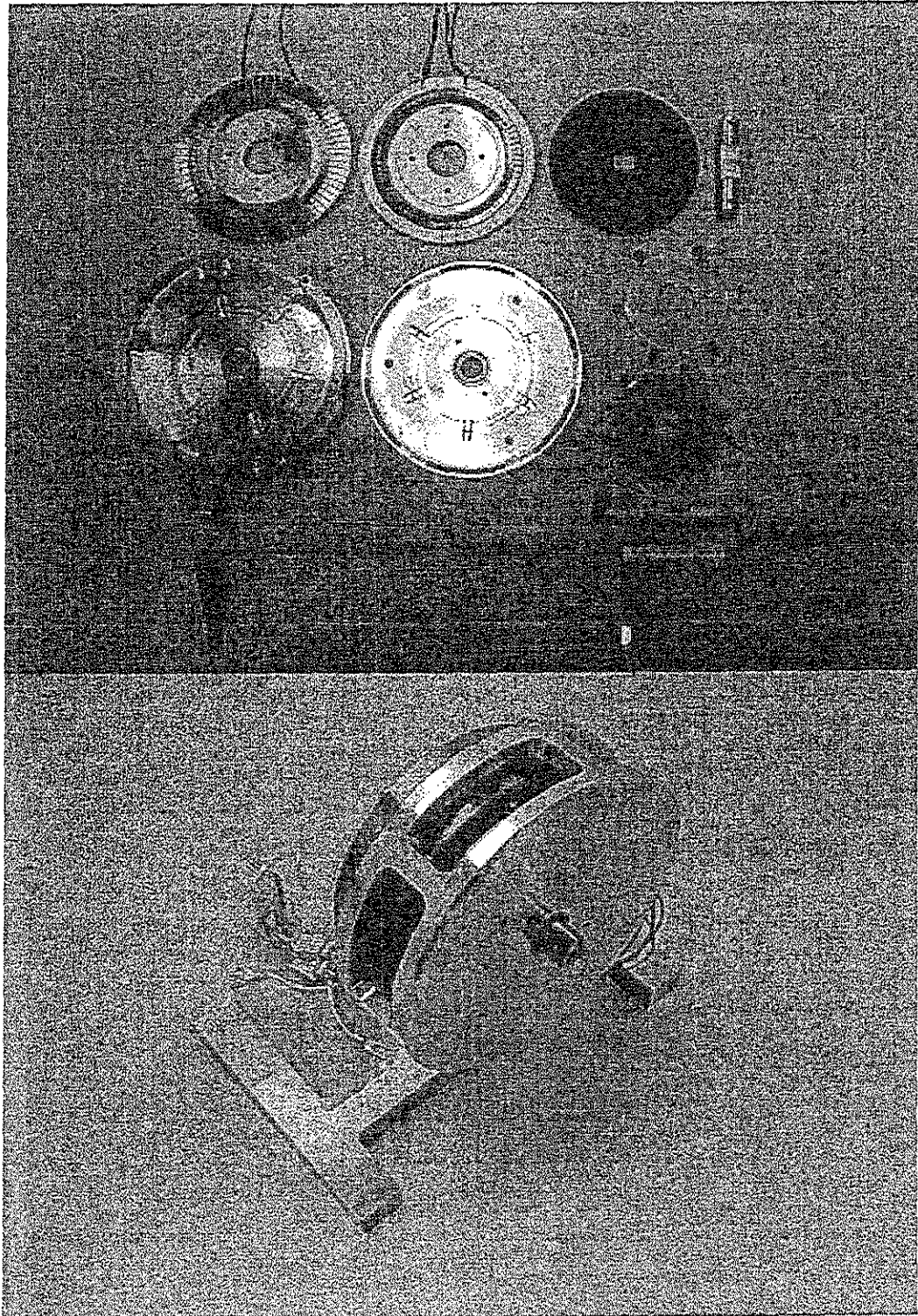


図 3.6 実験に使用したモータ

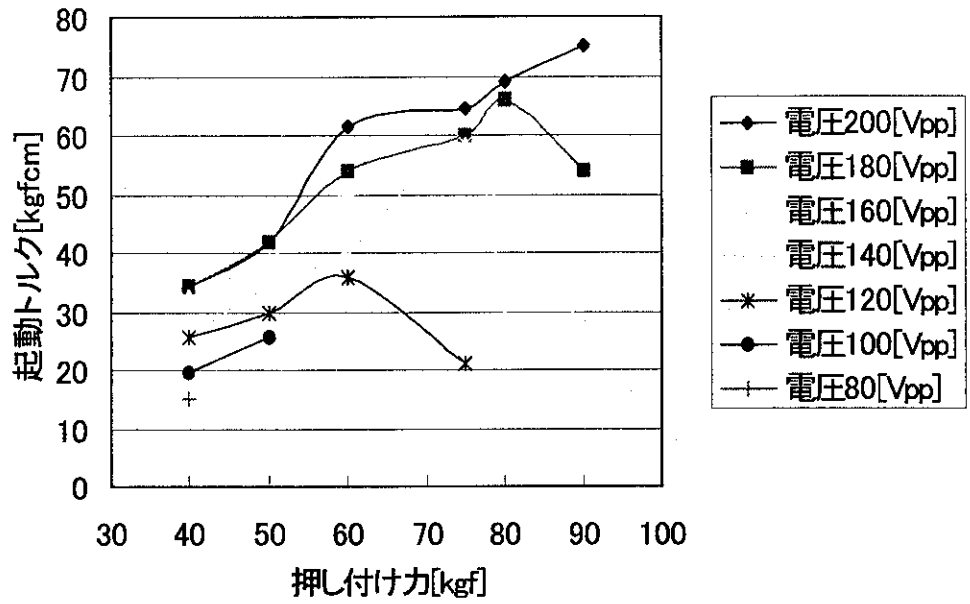


図 3.7 起動トルクー押し付け力特性(タイプ 1)

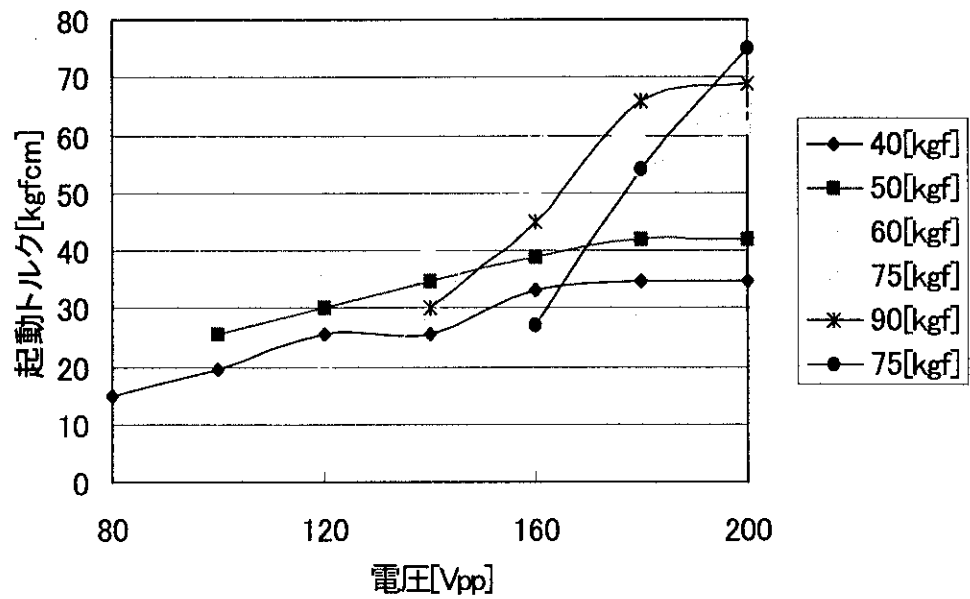


図 3.8 起動トルクー印加電圧特性(タイプ 1)

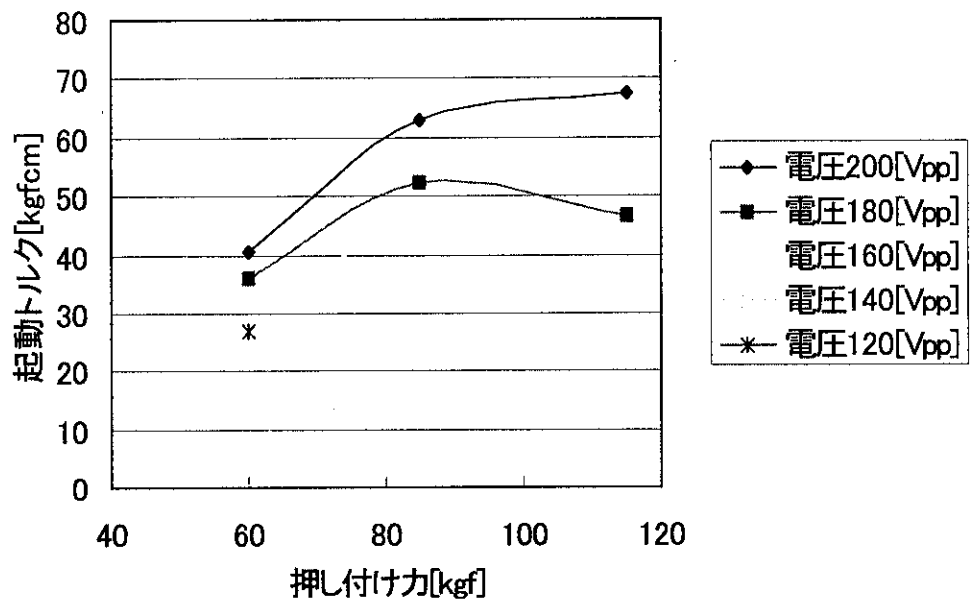


図 3.9 起動トルクー押し付け力特性(タイプ 2)

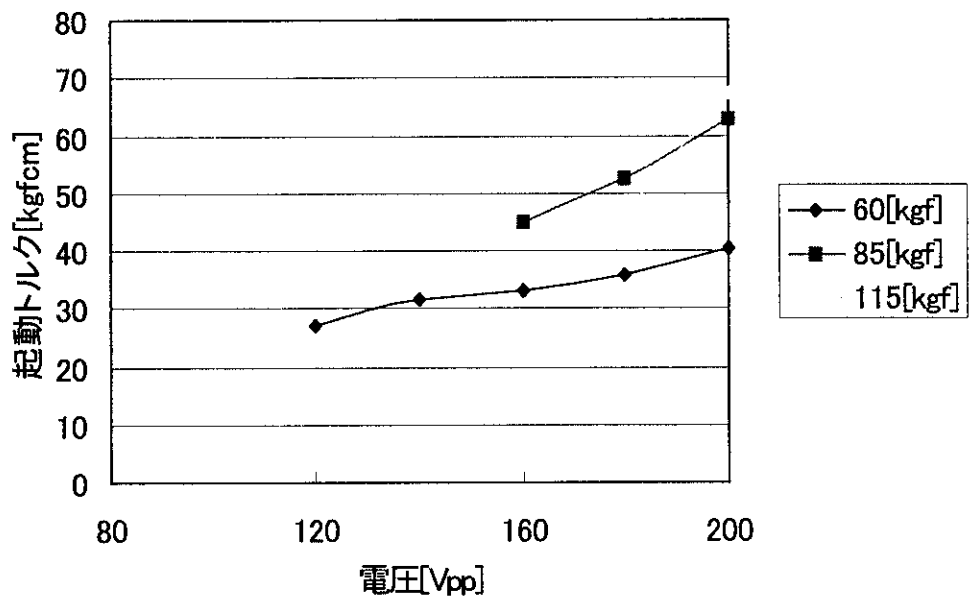


図 3.10 起動トルクー印加電圧特性(タイプ 2)

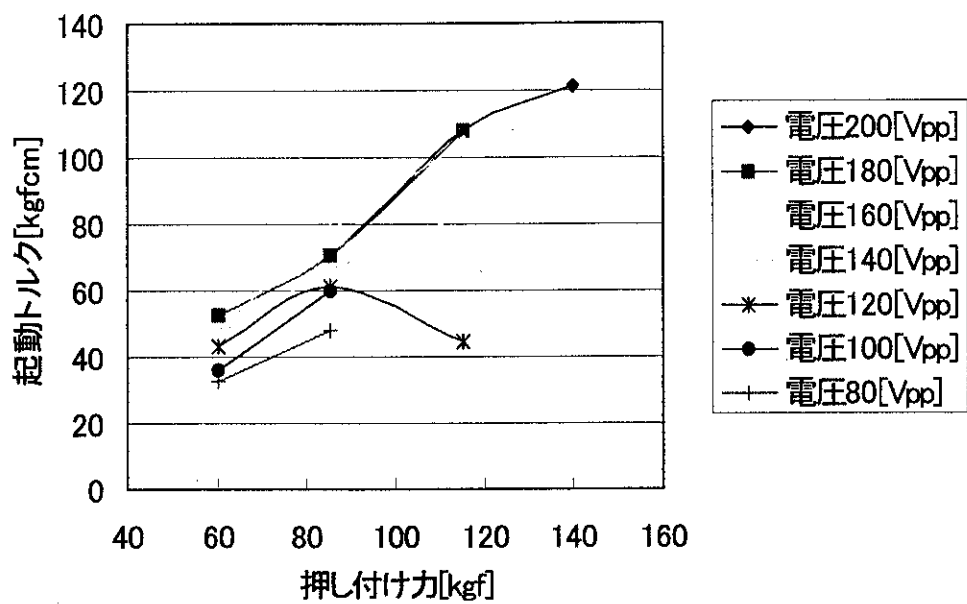


図 3.11 起動トルクー押し付け力特性(タイプ 3)

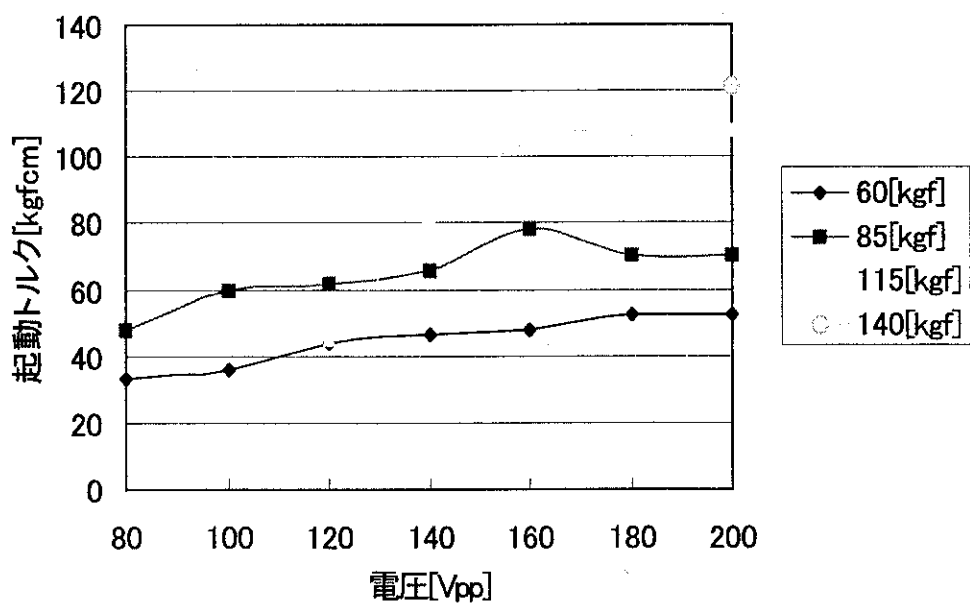


図 3.12 起動トルクー印加電圧特性(タイプ 3)

ロータの選定

現在まで本研究室では超音波モータの出力トルクを向上させるために、主にステータの開発を重視してきており、ロータの開発はほとんどされてきてはいない。これまで、ロータの材質として次のような条件を有することが好ましいとされている。

- ステータ表面に均一な圧力で接触できること。
- ステータの表面波の波頭近くに $1/8 \sim 1/4\lambda$ の領域で密着し、他には接触しない程度の弾性を有すること。
- 摩擦係数が大きいこと。
- 品質係数(Q)が高いこと。
- 熱膨張率が低いこと。

各ロータの起動トルク実験

N66GF30 を基準にし弾性率及び硬度が大きいもの、N66GF30 より弾性率が大きく硬度が同程度のもの、弾性率及び硬度が小さいものを、再度選択した。これら選択した材質を表 4.1 に示す。

表 4.1 N66GF30 を基準にしたロータ材の物性値

N66GF30 との比較	材質	弾性率[MPa]	硬度 M スケール
	N66GF30	6530	97
弾性率、硬度が大きい	N6GF30	8100	99
	PEIGF30	8310	125
	PEEKGF30	10300	103
	PEEKCF30	13000	107
	PPSGF40	13200	100
	PPSCF30	20600	104
弾性率が大きく、硬度が同程度	PBTGF30	8820	96
弾性率、硬度が小さい	PPEGF20	5400	R122
	PESGF30	2600	88

注：硬度での R は R スケール

ここで、それぞれの材質名称は、PEI はポリエーテルイミド、PEEK はポリエーテルエーテルケトン、PPS はポリフェニレンサルファイド、PBT はポリブチレンテレフタレート、PPE はポリフェニレンエーテル、PES はポリエーテルサルホンであり、それぞれガラス繊維(GF)、カーボン繊維(CF)を充填したものである。

これらのロータを用いて実験を行い、起動トルクの評価を行った。

実験方法

今回新たに開発したタイプ 3 のステータを使用した。

実験結果及び考察

選択した材質のロータ(表 4.1)の起動トルクー押し付け力特性、起動トルクー印加電圧特性をそれぞれ図 4.1～図 4.20 に示す。また、弾性率と硬度の比率関係を示したものを図 4.21 に示す。

これらの結果より、PPEGF20、PEEKGF30、PEEKCF30 が 140[kgfc_m]以上の起動トルクを出力した。また、PBTGF30 も約 130[kgfc_m]の高い起動トルクを出力した。しかし、高出力できたロータの材質には弾性率だけでは、やはり決まらないため、弾性率と硬度の比率関係を検討した結果、図 4.21 のように傾きが約 100 前後の値で特に高い出力であることが分かった。(○印) この傾きが大きくなっても、小さくなっても起動トルクは減少している。つまり、弾性率をロータからの反力、硬度をステータの発生する進行波がロータにめり込む度合いと考えると、弾性率が小さくても進行波がロータにめり込むことができれば、起動トルクは向上できる。また、PBTGF30 は N66GF30 と比べて、弾性率だけが大きいものであり、先に述べたように弾性率だけを大きくすれば起動トルクは大きくなることが分かった。しかし、これは硬度が同程度によるもので、PPS の GF40 と CF30 についても同じことが言える。(□印) つまり、硬度が同程度であれば弾性率を上げることで起動トルクは向上するが、PPS からも分かるように、ただ上げるだけではそれほど効果は現れないことが分かる。これらより、PPEGF20 と PEEKGF30、PEEKCF30、PBTGF30 の弾性率と硬度が違うときでも、起動トルクが向上したことがわかる。しかし、PPEGF20 は他のものとは比べるとステータの発熱が多く、回転数も低かった。起動トルクが同程度であれば、ステータの発熱も同程度あると予測できるが、PPEGF20 は進行波が多

くロータ側にめり込んでいると考えられるため、その分の接触面積が増え摩擦による発熱が大きくなると考えられる。

また、例外として PESGF30 がある。(△印) この材質を他の材質と比べると、他の材質のものは電圧が上がれば起動トルクが大きくなっていくにも関わらず、この材質だけは電圧が 160、180[Vpp]の方が大きく出力している。この原因として、圧電素子からの力と材質の弾性率と硬度の比率によるものと考えられる。つまり、硬度が高くても弾性率が低ければ、進行波の波頭部分で出力させる摩擦力が少なくなり、起動トルクが出力されにくくなってしまふ。また、この材質のときは、瞬間的には大きな力が出力させるが、半周程で止まってしまい、かなりの発熱がともなった。これは、ステータの進行波が最初は大きな振幅が出てしまい、そのときの起動トルクを計測したと考えられ、進行波が安定すると駆動できなくなってしまうと考えられる。

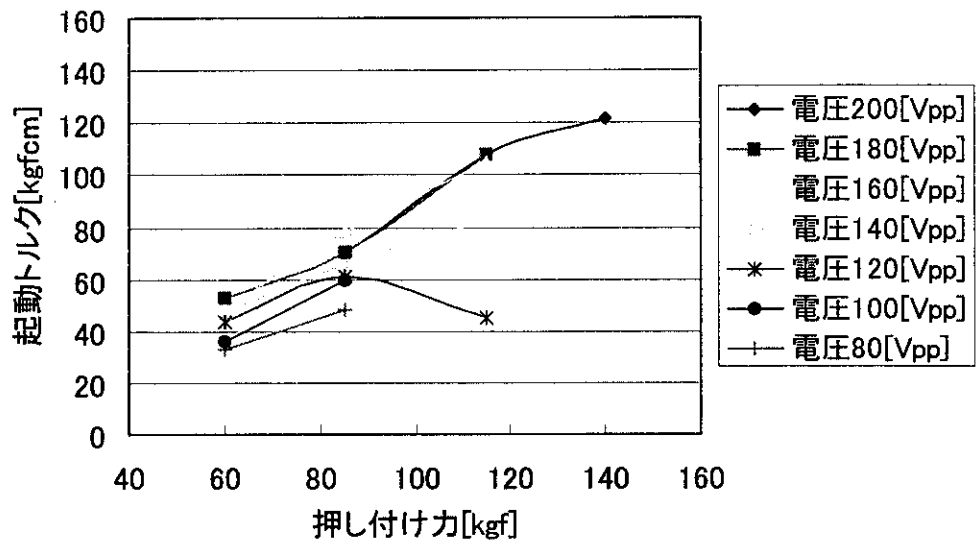


図 4.1 起動トルクー押し付け力特性(N66GF30)

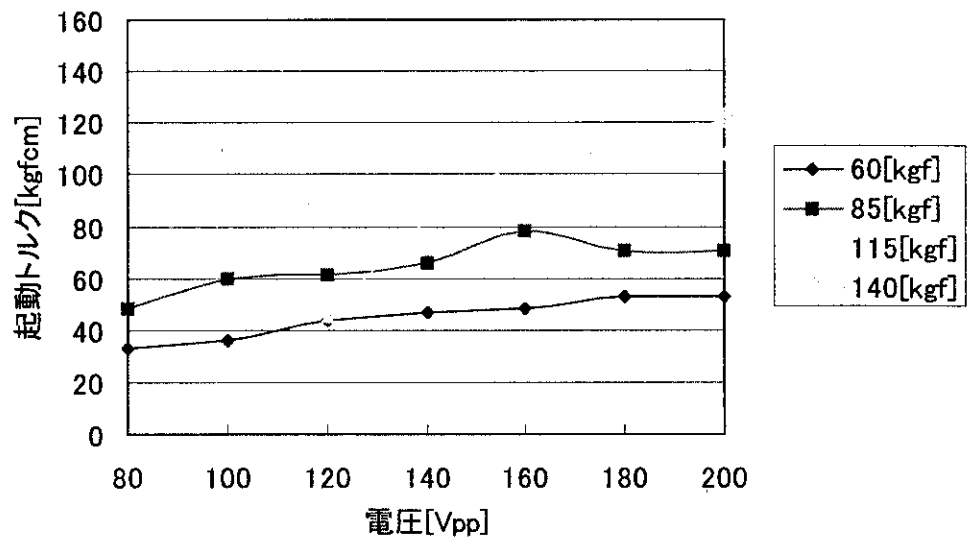


図 4.2 起動トルクー印加電圧特性(N66GF30)

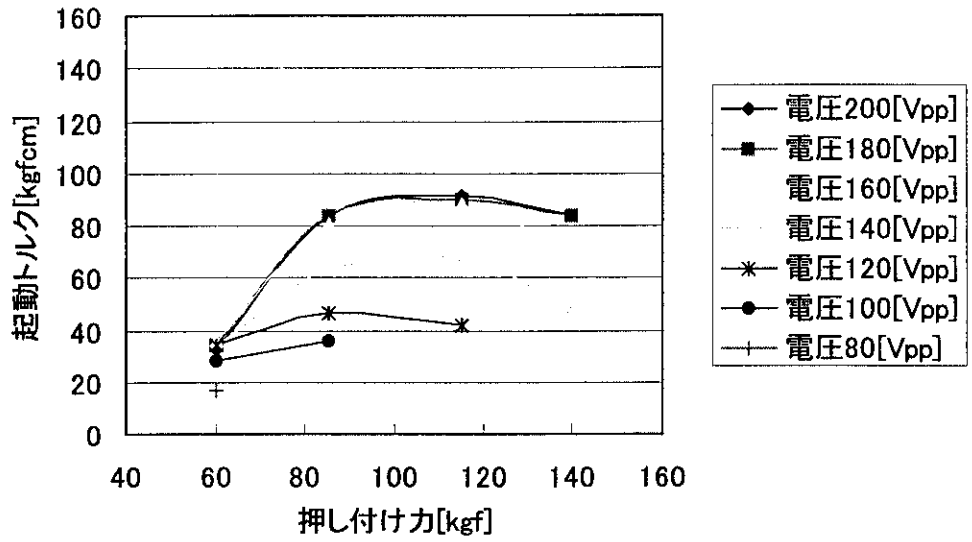


図 4.3 起動トルクー押し付け力特性(N6GF30)

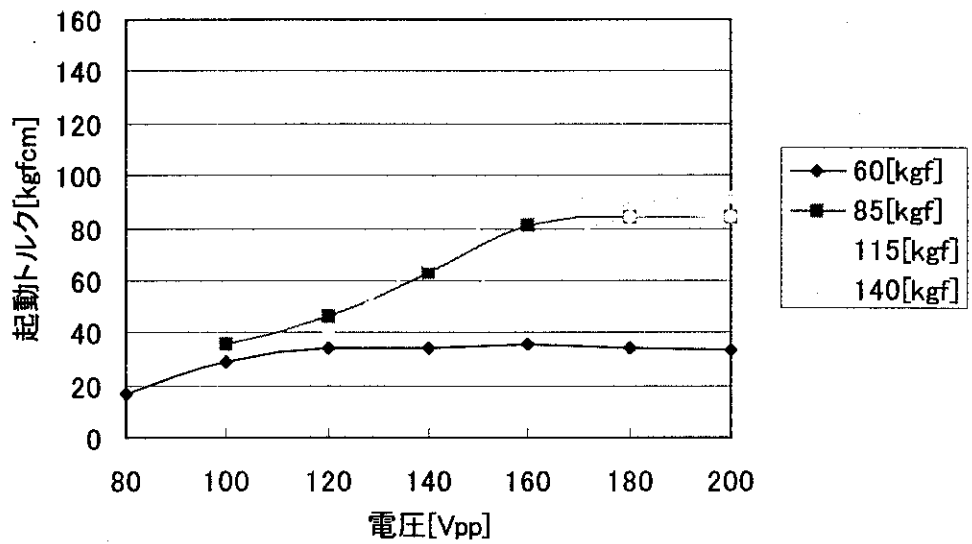


図 4.4 起動トルクー印加電圧特性(N6GF30)

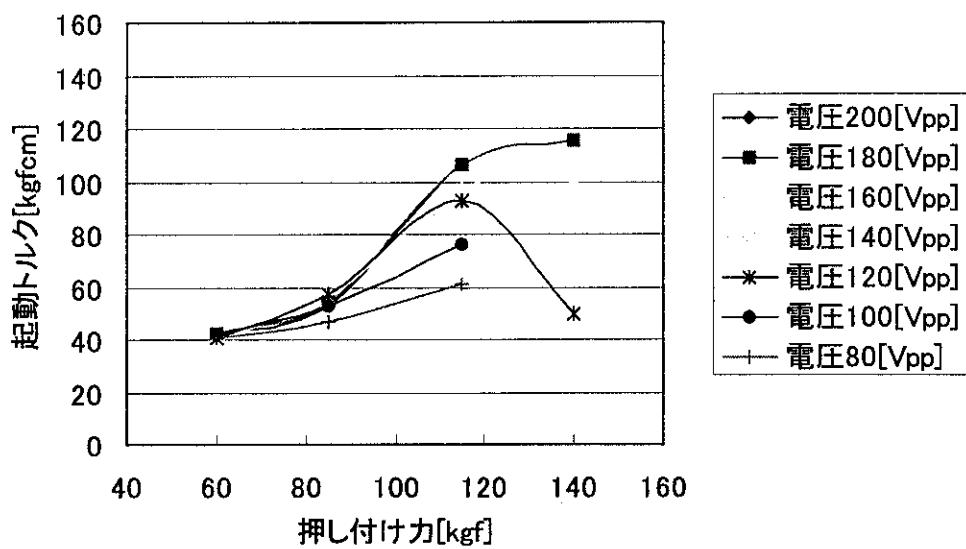


図 4.5 起動トルクー押し付け力特性(PEIGF30)

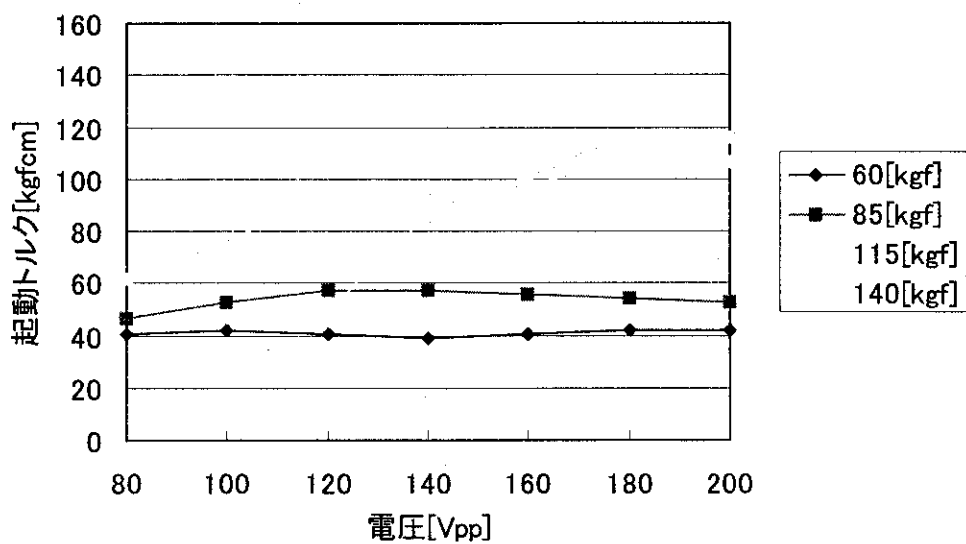


図 4.6 起動トルクー印加電圧特性(PEIGF30)

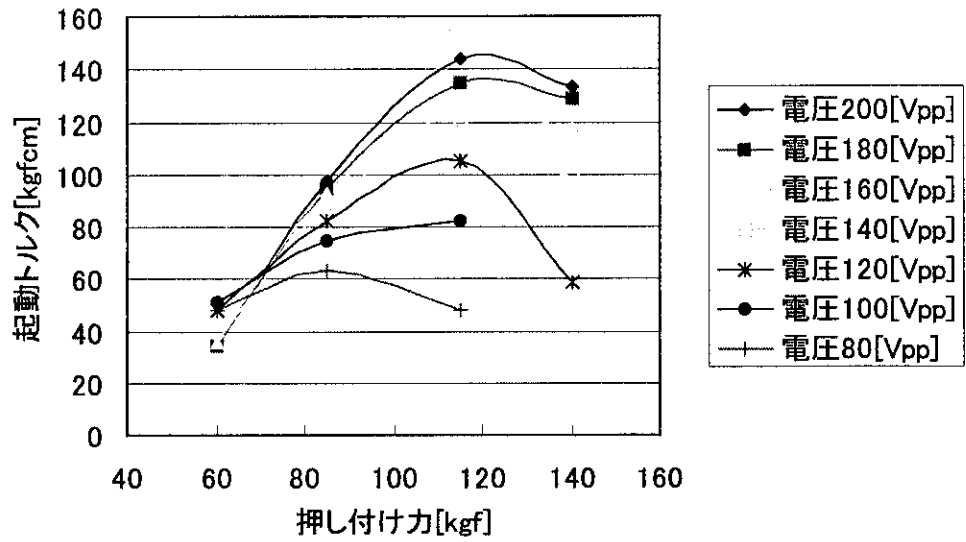


図 4.7 起動トルクー押し付け力特性(PEEKGF30)

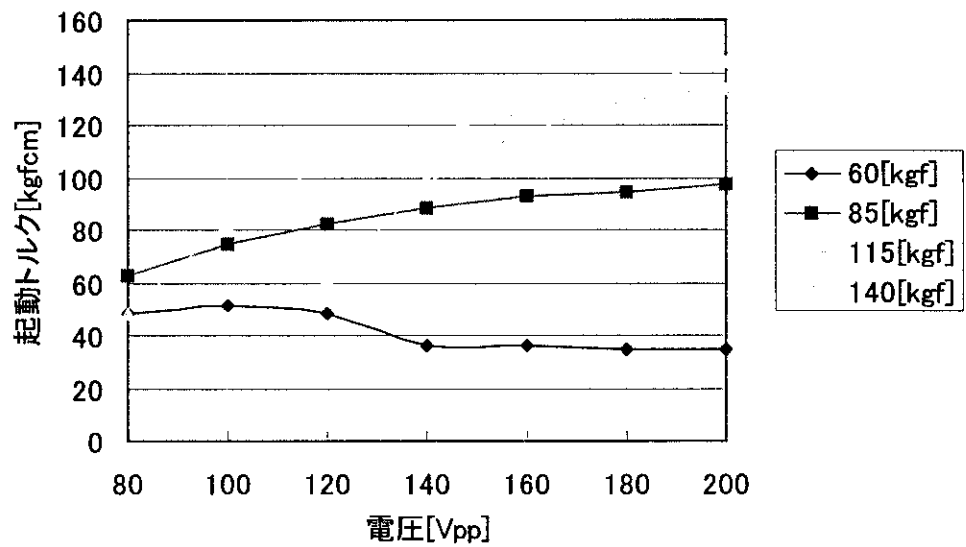


図 4.8 起動トルクー印加電圧特性(PEEKGF30)

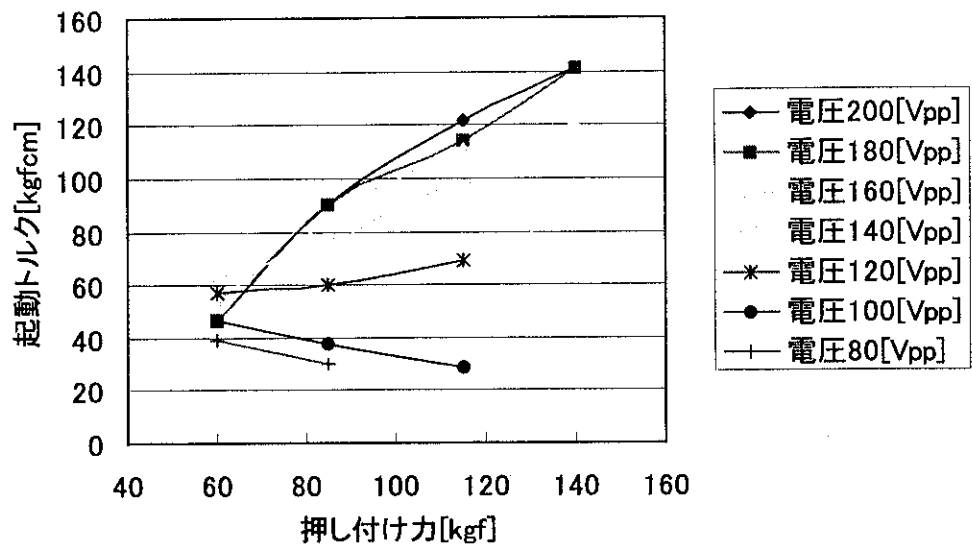


図 4.9 起動トルクー押し付け力特性(PEEKCF30)

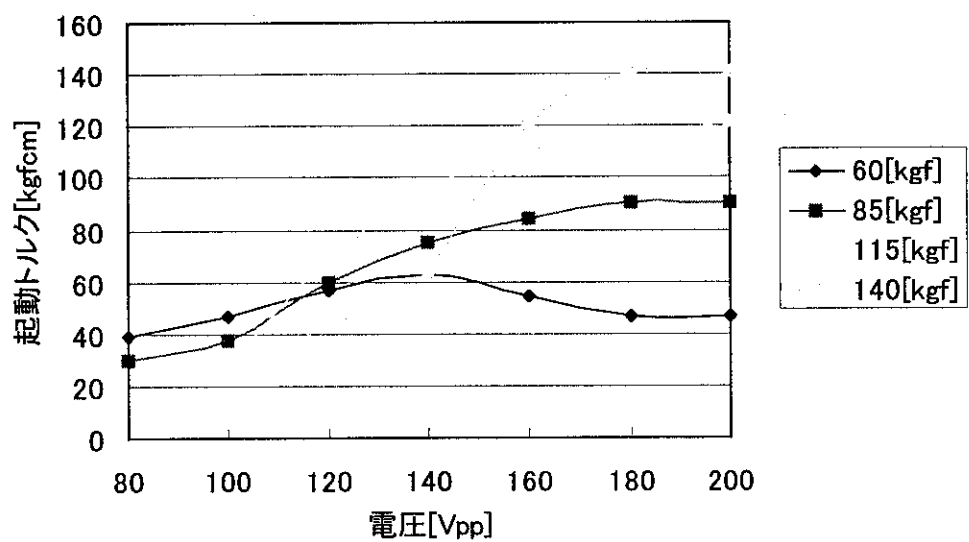


図 4.10 起動トルクー印加電圧特性(PEEKCF30)

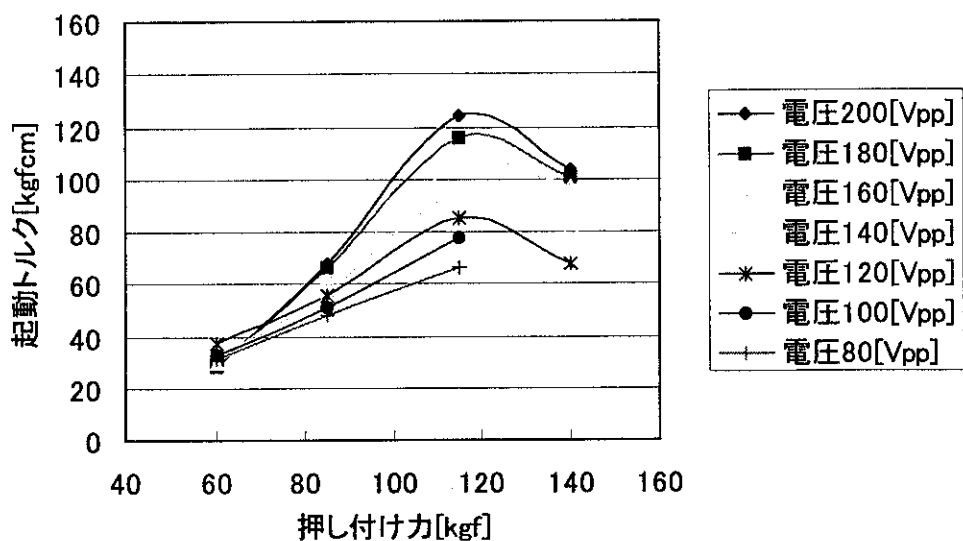


図 4.11 起動トルクー押し付け力特性(PPSGF40)

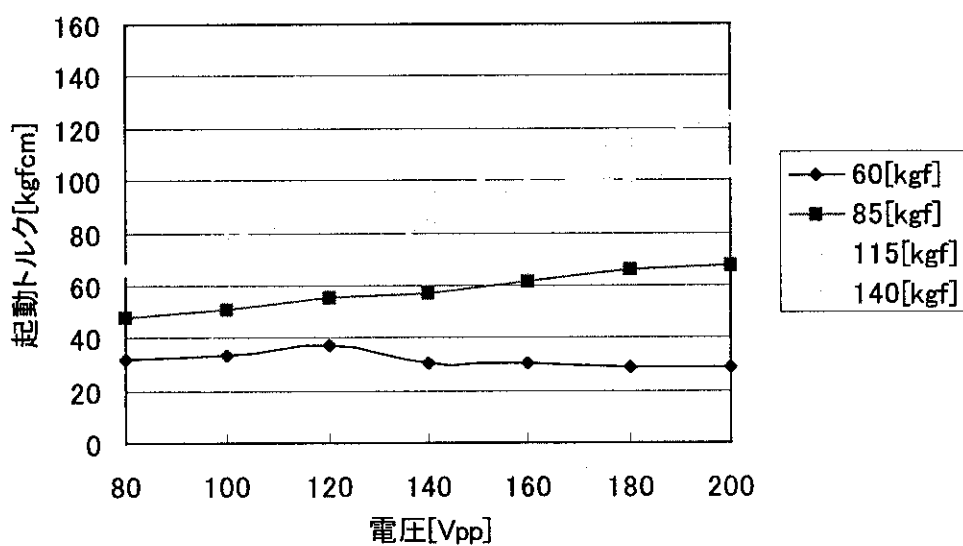


図 4.12 起動トルクー印加電圧特性(PPSGF40)

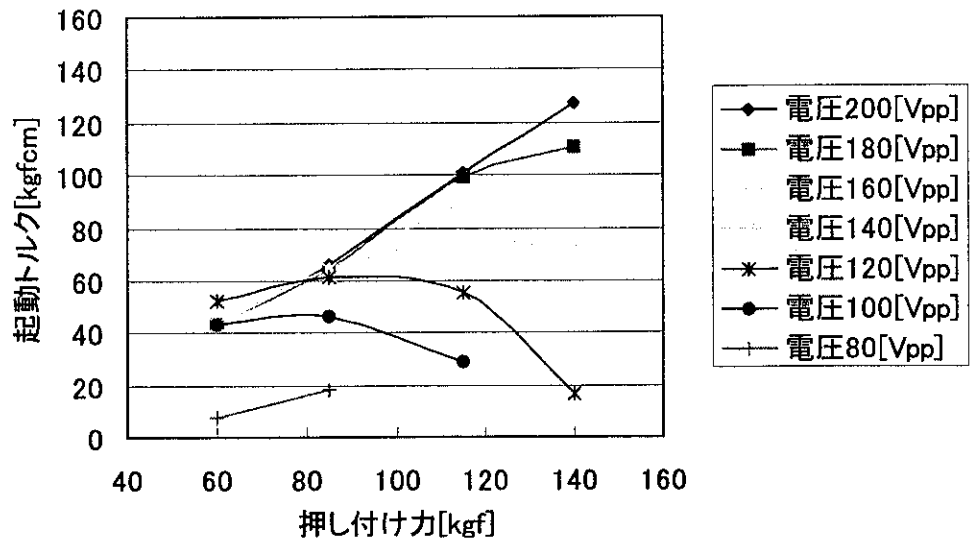


図 4.13 起動トルクー押し付け力特性(PPSCF30)

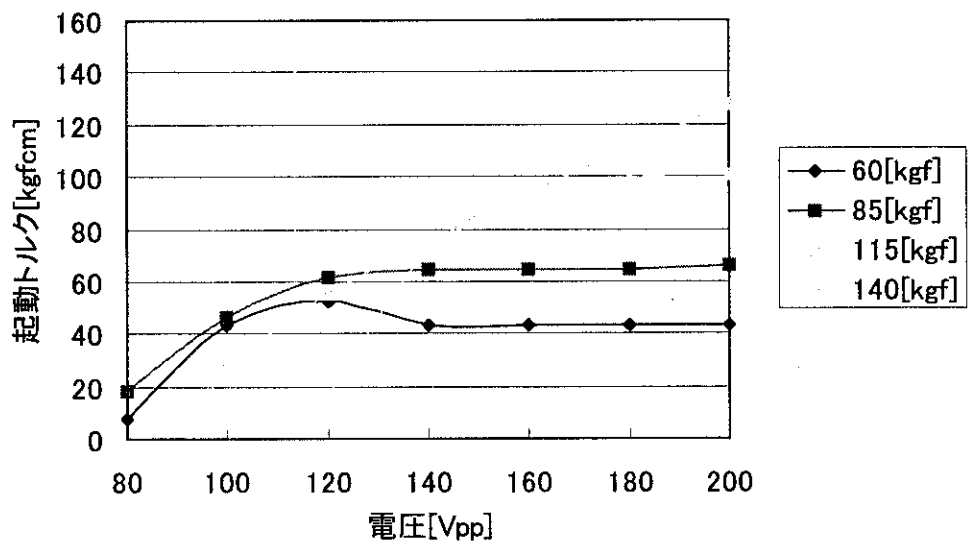


図 4.14 起動トルクー印加電圧特性(PPSCF30)

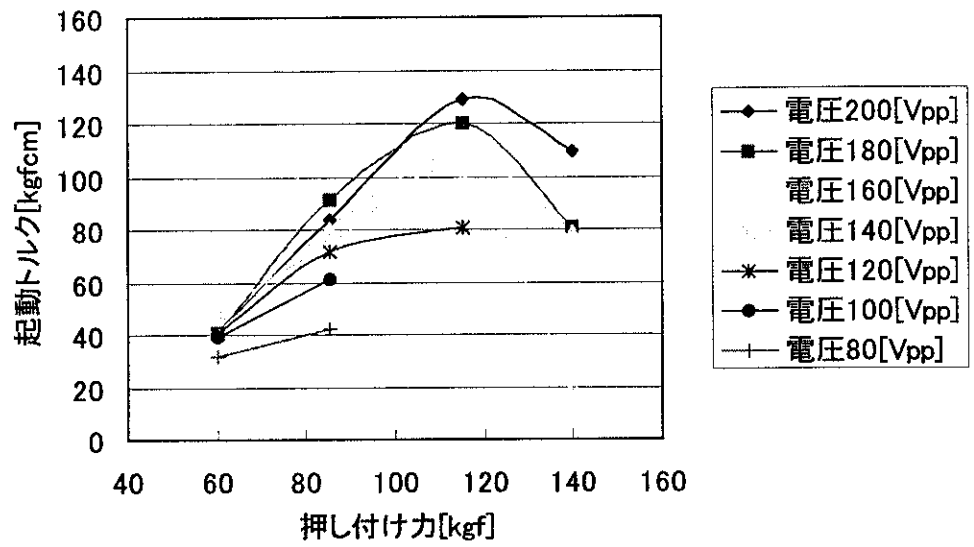


図 4.15 起動トルクー押し付け力特性(PBTGF30)

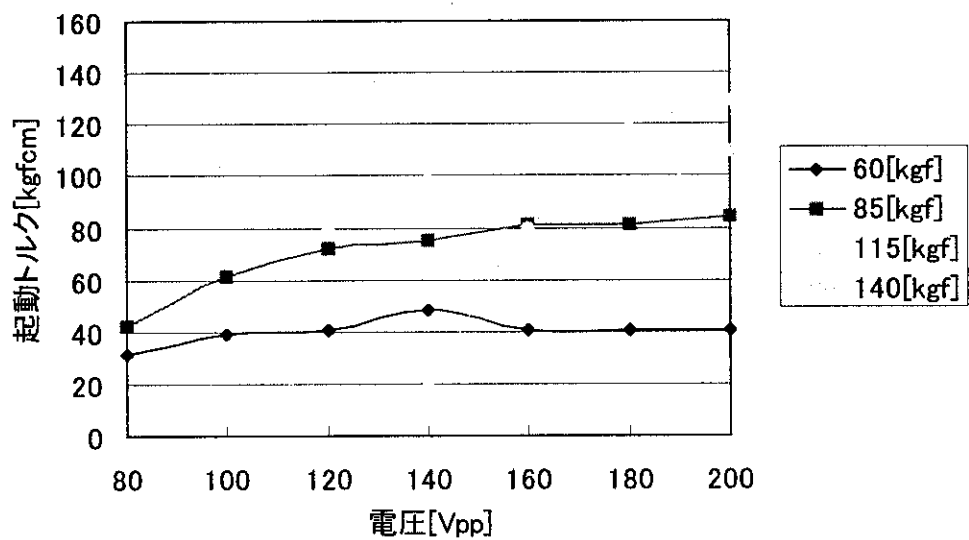


図 4.16 起動トルクー印加電圧特性(PBTGF30)

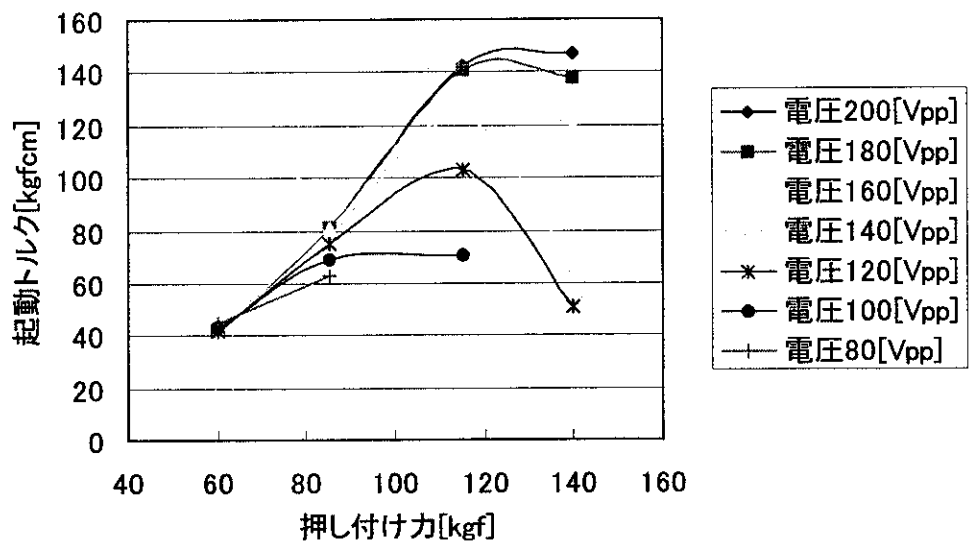


図 4.17 起動トルクー押し付け力特性(PPEGF20)

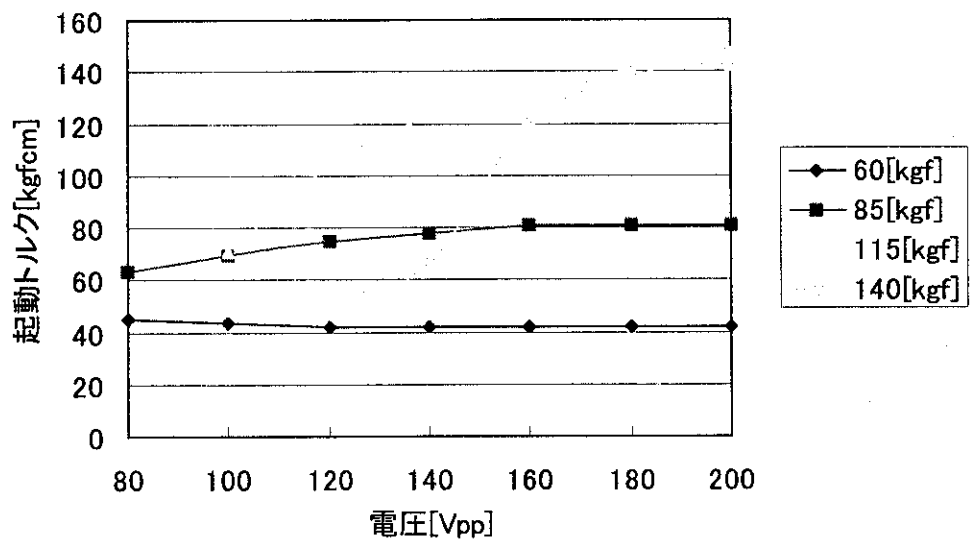


図 4.18 起動トルクー印加電圧特性(PPEGF20)

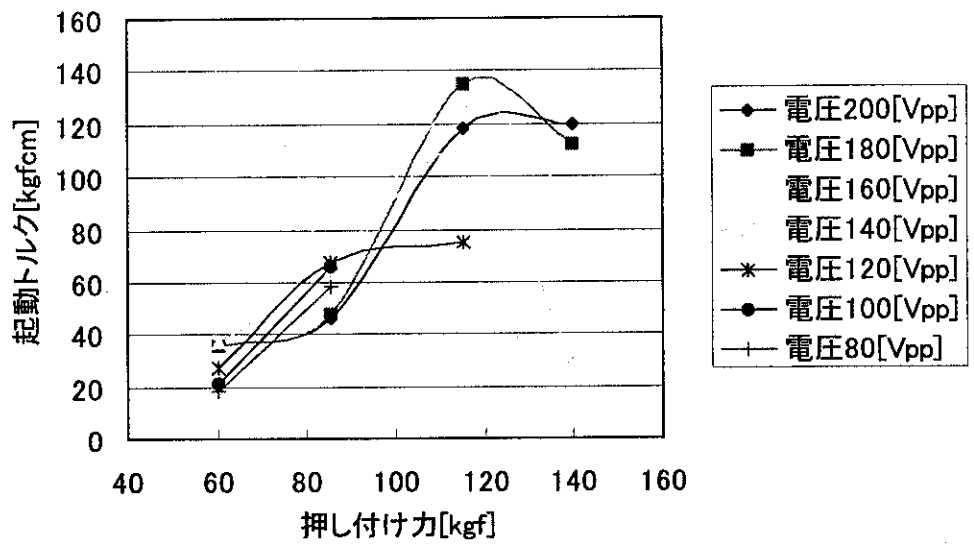


図 4.19 起動トルクー押し付け力特性(PESGF30)

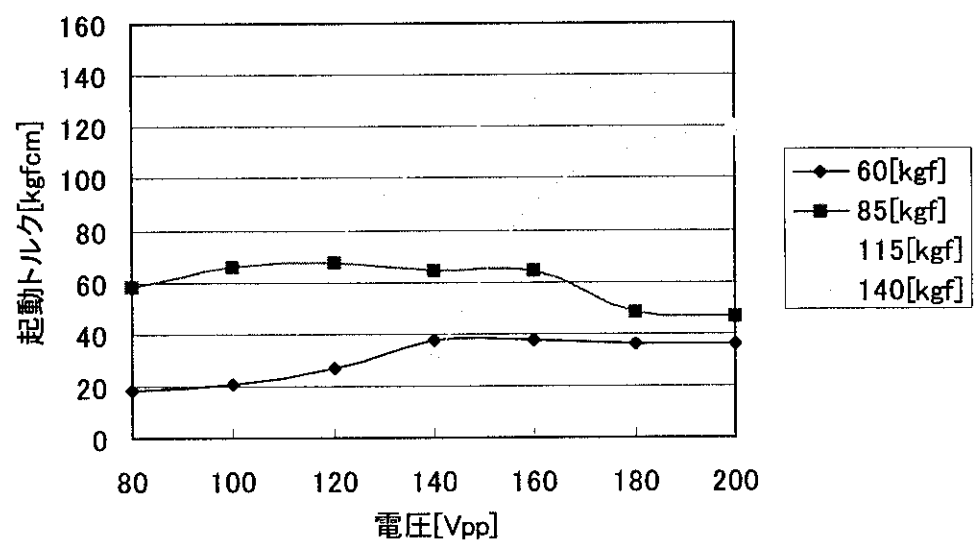


図 4.20 起動トルクー印加電圧特性(PESGF30)

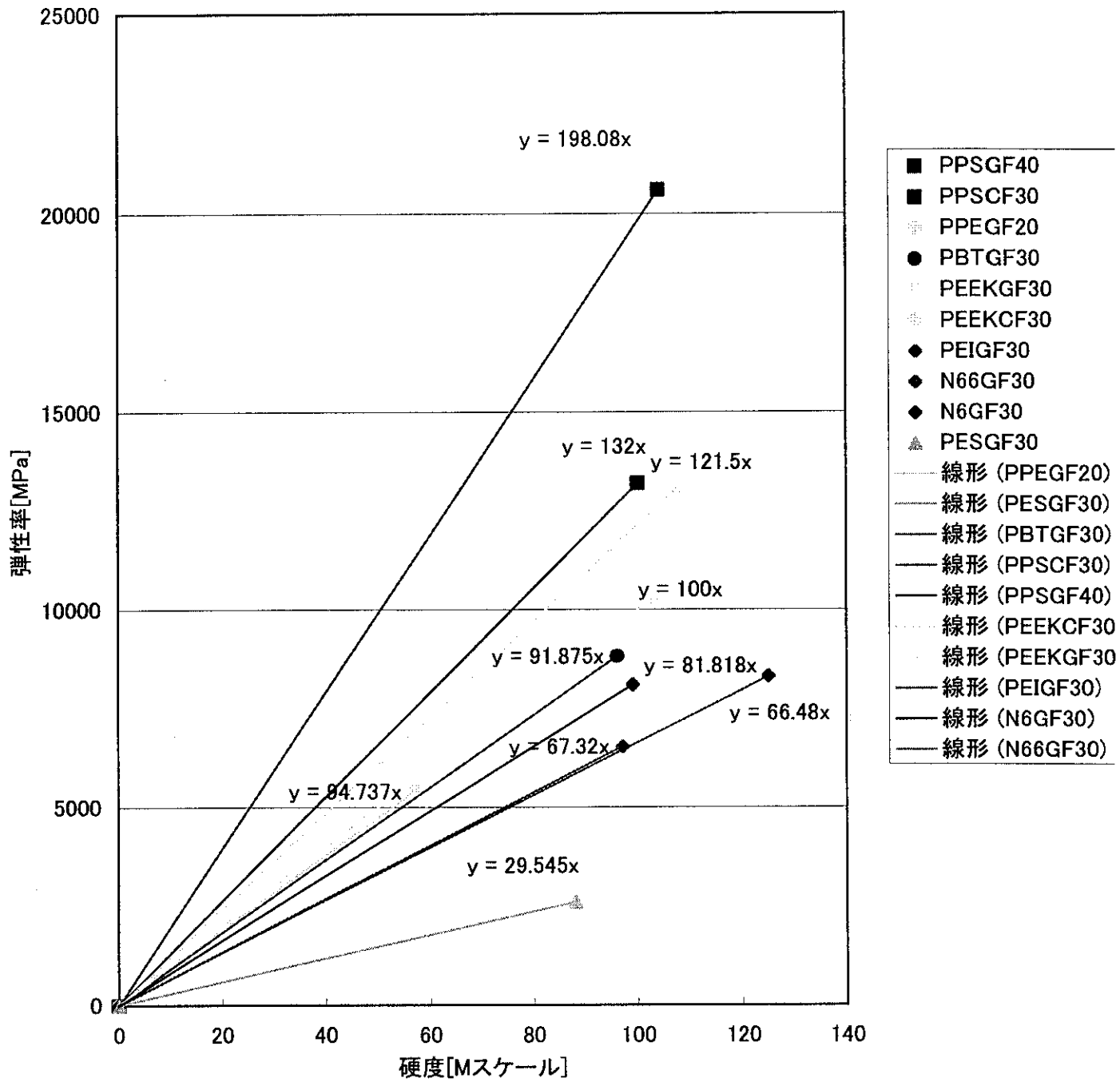


図 4.21 弾性率と硬度の比率