

ケーブル鉛被用二元系鉛合金の高温圧縮性

山路賢吉* 大畠芳昭**

The Compressibility of Binary Lead Alloys for Cable Sheathing
at Elevated Temperatures

By Kenkichi Yamaji and Yoshiaki Ōhata

Hitachi Electric Wire and Cable Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The writers studied the compressibility of binary lead alloys suitable for lead sheath, containing small amount of Ag, As, Bi, Ca, Cd, Cu, Na, Sb, Sn or Zn, and the compression tests for these alloys were carried out at various temperatures ranging over room temperature, 150°C, 200°C, and 250°C. The results of the experiment may be summarized as follows:

- (1) The load, P , to produce definite small deformation in pure lead and its alloys prepared at various temperatures, T , are shown to follow the Pearson's formula, $P=Ae^{-Bt}$, where A and B are constants for the material.
- (2) At normal extrusion temperature (250°C), lead alloys added with 0.03% of Ca, 0.07% of Cu or 0.1% of Na show a good compressibility, while the compressibility of the Pb-1% Sb, Pb-0.04% As and Pb-3% Bi alloys was turned out to be much less.
- (3) Comparing the effects of various elements added in the same percentage, 0.01% of total weight, on the compressibility of pure lead at 250°C, it was proved that Sn, Sb, Bi, Zn and Cu caused only small change in deformation properties while Cd and Na produced considerable change. Further, lead alloys containing Ca, As and Ag appeared much less plastic than other alloys.

〔I〕 緒 言

ケーブルに鉛を被覆するのは、外部からの湿気を防止し内部絶縁物の絶縁性能の低下を防止する目的をもっているものであり、その柔軟性ならびに耐蝕性の良好な点より広く用いられている。しかし鉛は衆知のように柔らかい金属であるため損傷しやすく、ケーブル布設箇所の振動や負荷の変動による熱的履歴現象によつて生ずる鉛被の伸縮、繰返し曲げのため疲労破壊を生じやすい。また OF(油入)ケーブルやガス圧ケーブルのように鉛被に対して内圧のかゝるケーブルではクリープ強度の大きいことが必要で、現在では種々の元素を添加して純鉛の機械的性質を改良した多元系鉛合金⁽¹⁾が登場している。

ケーブル被覆用鉛合金に要求されることは上述の機械

* ** 日立製作所日立電線工場

的性質の良好なこと以外に、被覆の際絶縁物の絶縁性能を低下させないように比較的低温で被覆できることおよびケーブル全長にわたり機械的性質が均一になるように被覆できることが望ましい。すなわち機械的性質がすぐれた合金でもその高温における可塑性が悪く、押出圧力を高くしたり、押出温度を上げる必要があるものはあまり良好な合金ということとはできない。また同程度の機械的性質をもつ合金では可塑性の良好な合金の方が押出作業も容易であり、単位時間当りの生産量も大きい。ゆえに鉛の可塑性におよぼす各種合金元素の影響は鉛被押出しの場合にきわめて重要である。鉛の高温における圧縮性および押し出し性についてはこれまで二、三の研究があるが^{(2)~(5)} 被鉛機による押し出しは、鉛の圧縮性の他にピストンと押し出しプレス間の摩擦、鉛合金と鉛室間の摩擦および鉛合金と口金間の摩擦などが問題となるととも

に、押し出しの際の温度上昇、押し出し作業中の圧力の変動ならびにコンテナ、ダイボックスの温度変化など種々の因子が関係し非常に複雑である。

したがって高温における圧縮試験結果から直ちに鉛の押し出し性を論ずることはできないが、高温圧縮性が押し出し性の重要な因子であることは否定できない。ゆえにわれわれは鉛の疲労強度、クリープ強度などを良好にすると考えられる10種の添加元素すなわち Ag, As, Bi, Ca, Cd, Cu, Na, Sb, Sn および Zn を少量含んだ各種二元系鉛合金について、常温 150°C, 200°C および 250°C における圧縮性を系統的に実験した。

なお鉛に対する各種元素の添加量は、その合金系における実用組成範囲ならびに多元系鉛被用合金の基礎となる組成範囲内にとどめたことを附記する。

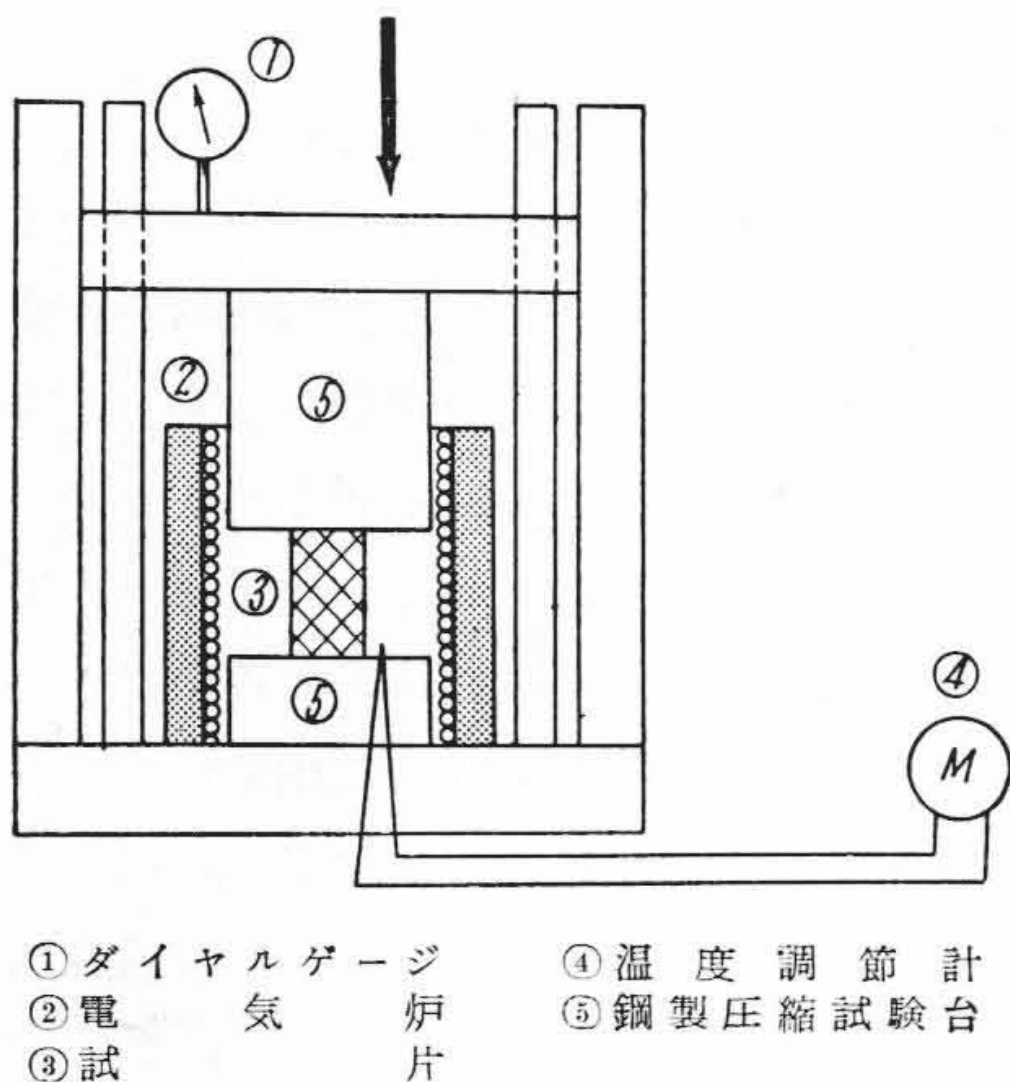
〔II〕 試料および実験方法

使用鉛地金の分析結果を第1表に示す。

この表に見るように、鉛の純度は99.99%である。また鉛に対する添加元素もできるだけ高純度のものを用いた。また第2表に供試合金の配合組成を示した。すなわち合金系としては10種、試料は全部で75種である。

試料の溶解にはニクロム線巻き電気炉および黒鉛坩堝を用い。鑄造温度は融点より100°C上とした。使用鑄型は約60°Cに余熱した鑄鉄製鑄型(10mmφ×200mm)である。なお母合金としてPb-1%Cu, Pb-10%Sb および Pb-10%As 合金を用いた。試片は両端を流動パラフィンに塗布したエメリー紙のNo.5で仕上げ10mmφ×10mmとした。

高温圧縮試験には10t オルゼン型万能試験機を用い、第1図のように鋼製圧縮試験台⑤をとりつけ、その周囲をニクロム線巻き管状電気炉で加熱した。変形量は圧縮



第1図 圧縮試験装置説明図
Fig. 1. Explanatory Diagram Showing the Apparatus of Compression Test

第1表 鉛地金の分析結果
Table 1. Result of Chemical Analysis of Lead Prepared

Fe	Cu	Sn+Sb	Zn	As	Bi	Pb
0.00018	0.0007	0.00018	0.00028	tr	0.0008	Bal

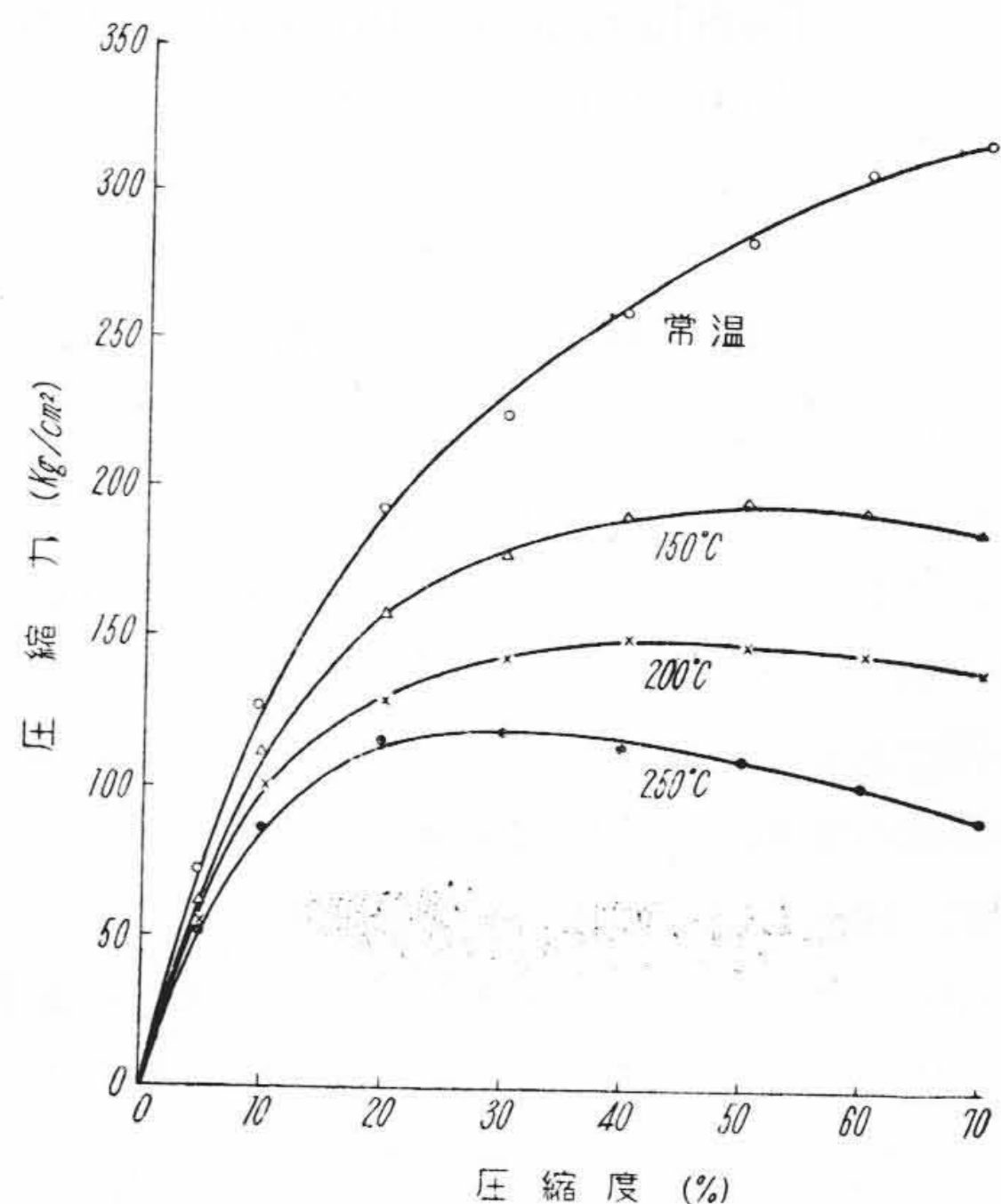
第2表 試料の配合組成
Table 2. Composition of the Specimens Prepared

添加元素	試番および添加量 (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ag	0.03	0.05	0.1	0.15	0.3	0.7	1.0	1.2	1.5	2.0
As	0.03	0.05	0.1	0.15	0.3	0.7	1.0	1.2	1.5	2.0
Na	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	—	—	—
Cu	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.2	—	—	—	—
Ca	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.1	0.2	—	—	—
Sn	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0	—	—	—	—
Sb	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0	—	—	—	—
Zn	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.2	0.5	0.8	—	—
Bi	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	—	—
Cd	0.02	0.04	0.06	0.08	0.1	0.2	0.5	—	—	—

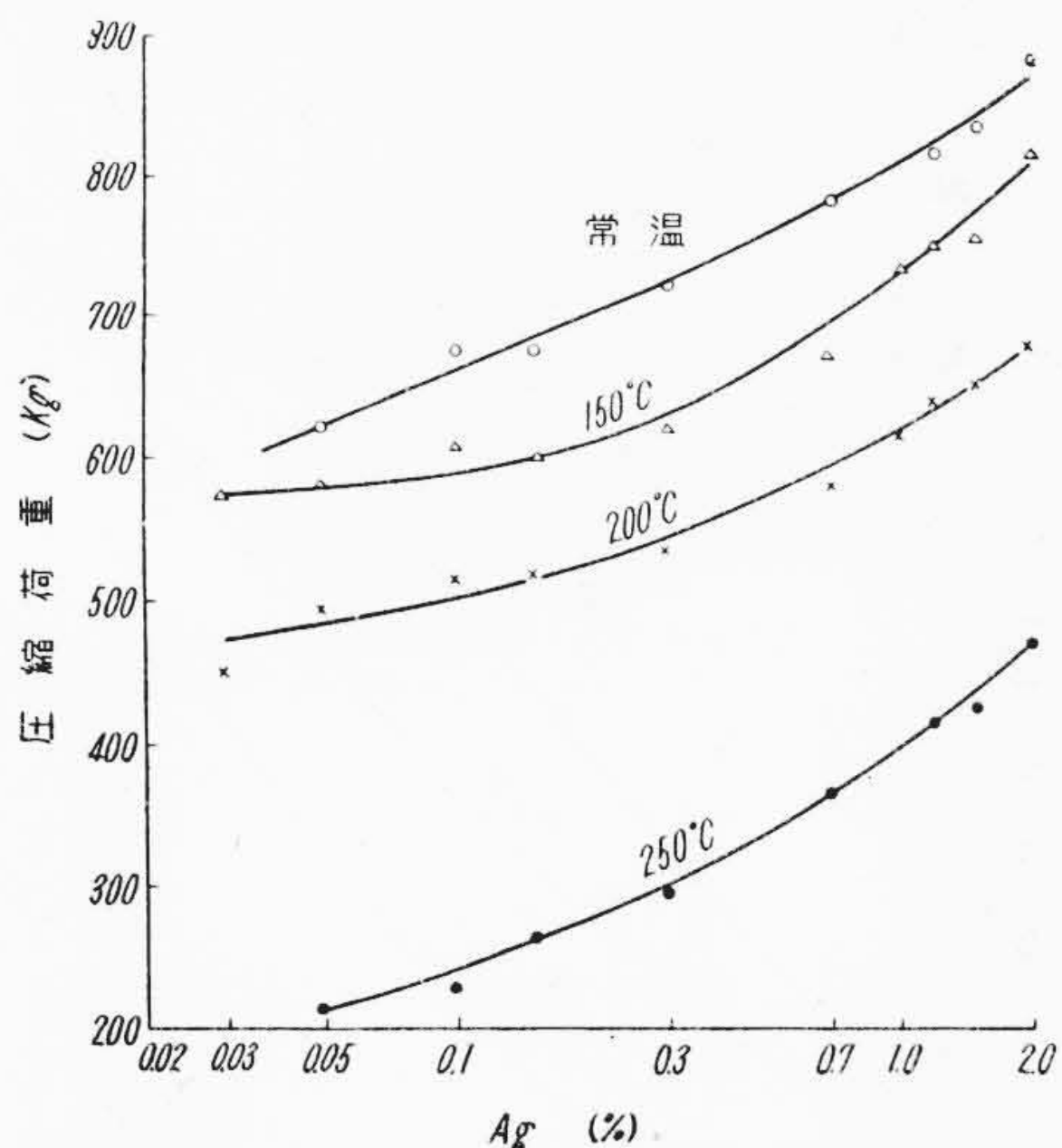
台の上部にとりつけたダイヤルゲージ①(精度:1/100mm)で読みとつた。なお測定には温度調節計④を用い試片③を置いて実験温度になつた後さらに10分間保持し実験を開始した。実験に当つては圧縮速度を3mm/minとし、各加工度における荷重を測定した。

〔III〕 実験結果

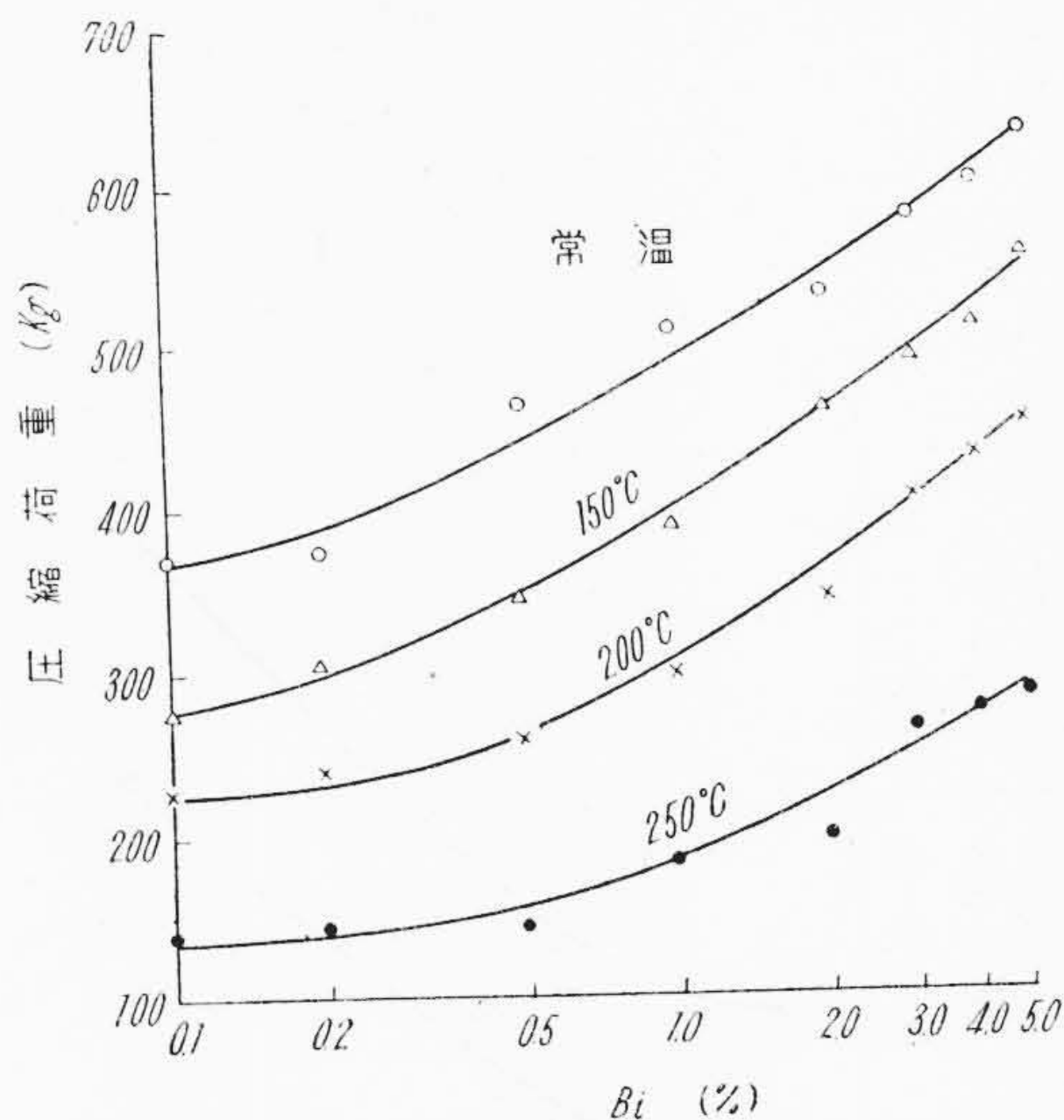
純鉛の各温度における圧縮力(見掛け上)と加工度との関係を第2図に示す。この図からわかるように常温の



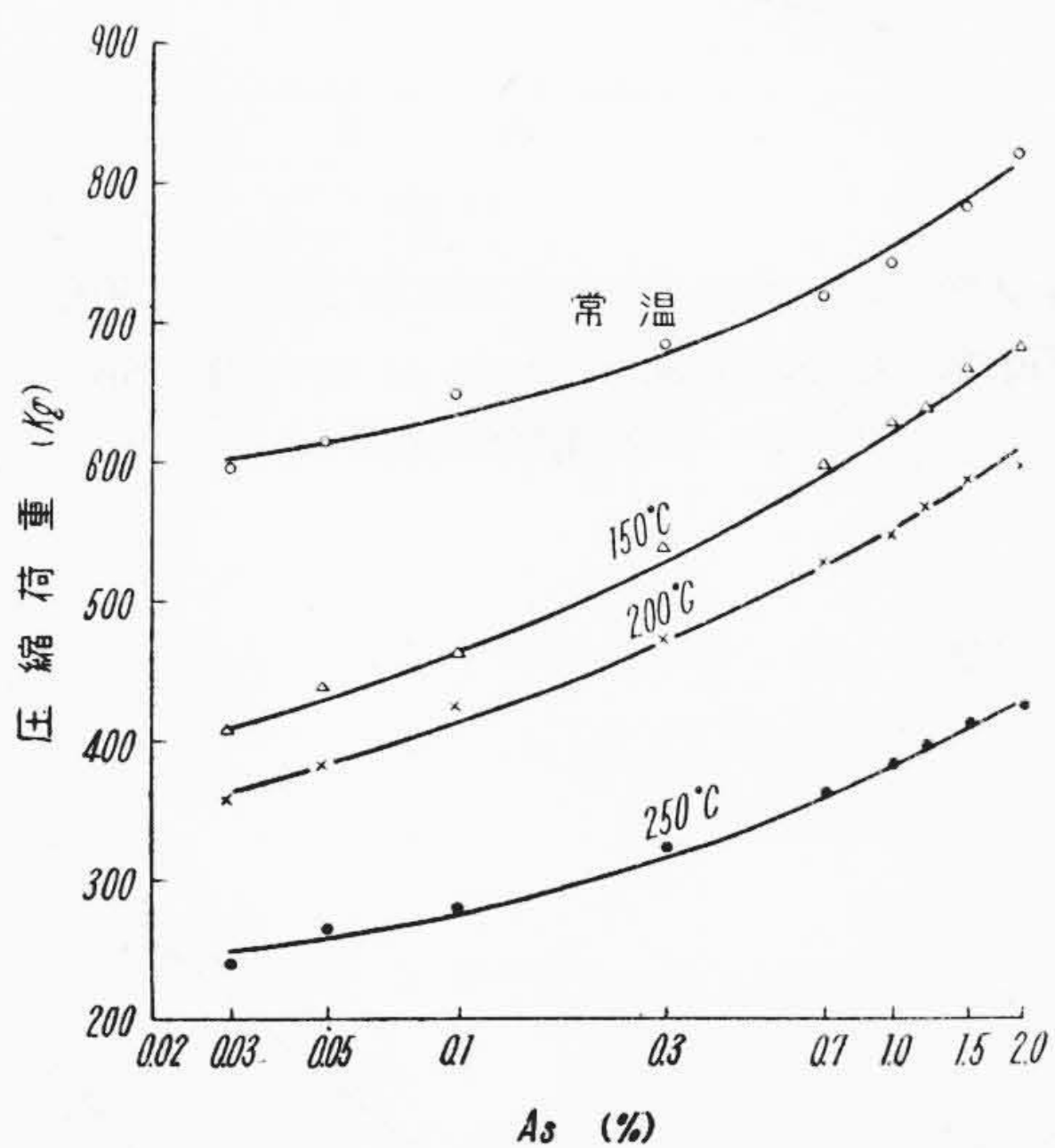
第2図 純鉛の各温度における圧縮試験
Fig. 2. Compression Test of Pure Lead at Various Temperatures



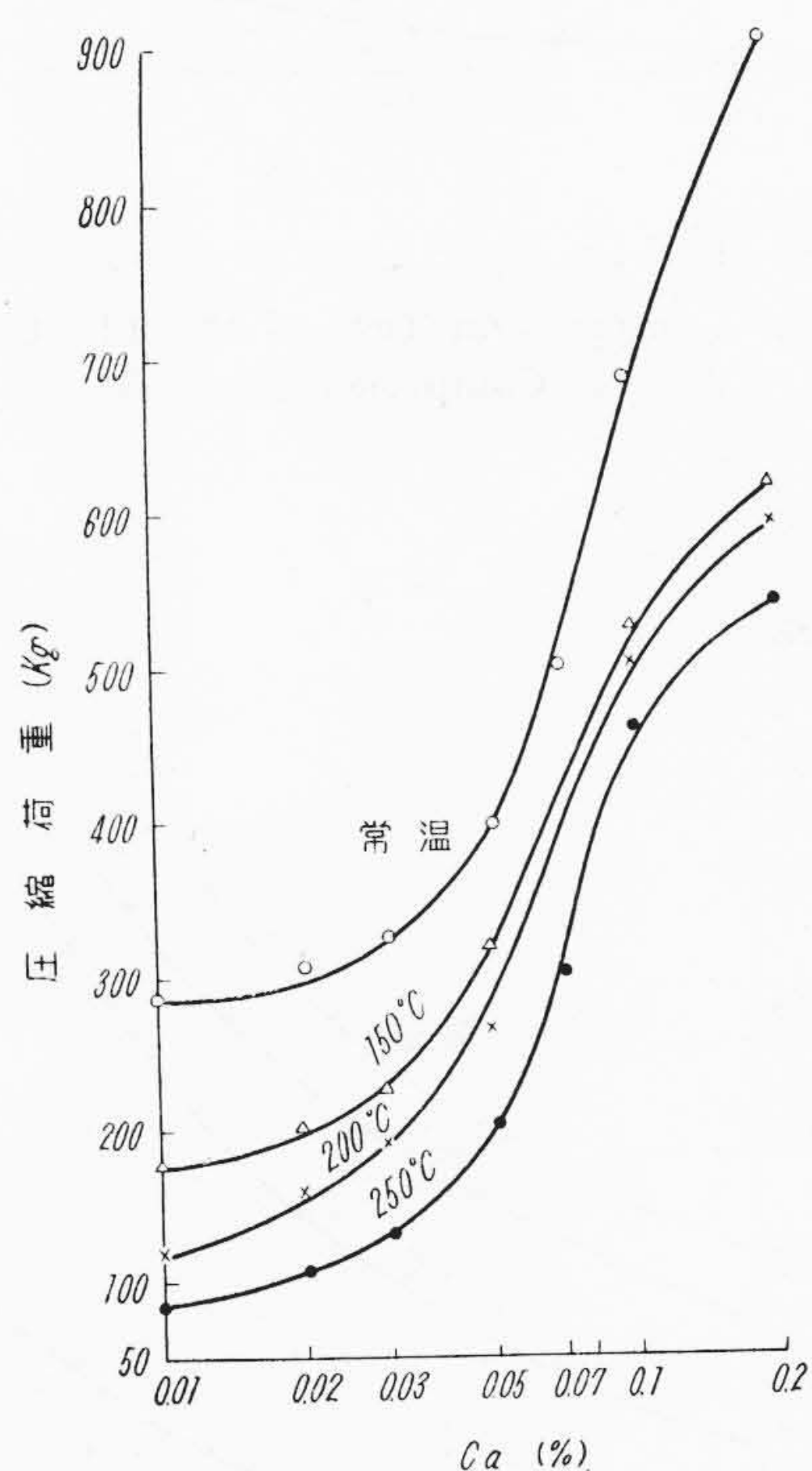
第3図 Pb—Ag 合金の圧縮試験(圧縮度 50%)
Fig. 3. Compression Test of the Pb—Ag Alloys (Compressibility: 50%)



第5図 Pb—Bi 合金の圧縮試験(圧縮度 50%)
Fig. 5. Compression Test of the Pb—Bi Alloys (Compressibility: 50%)



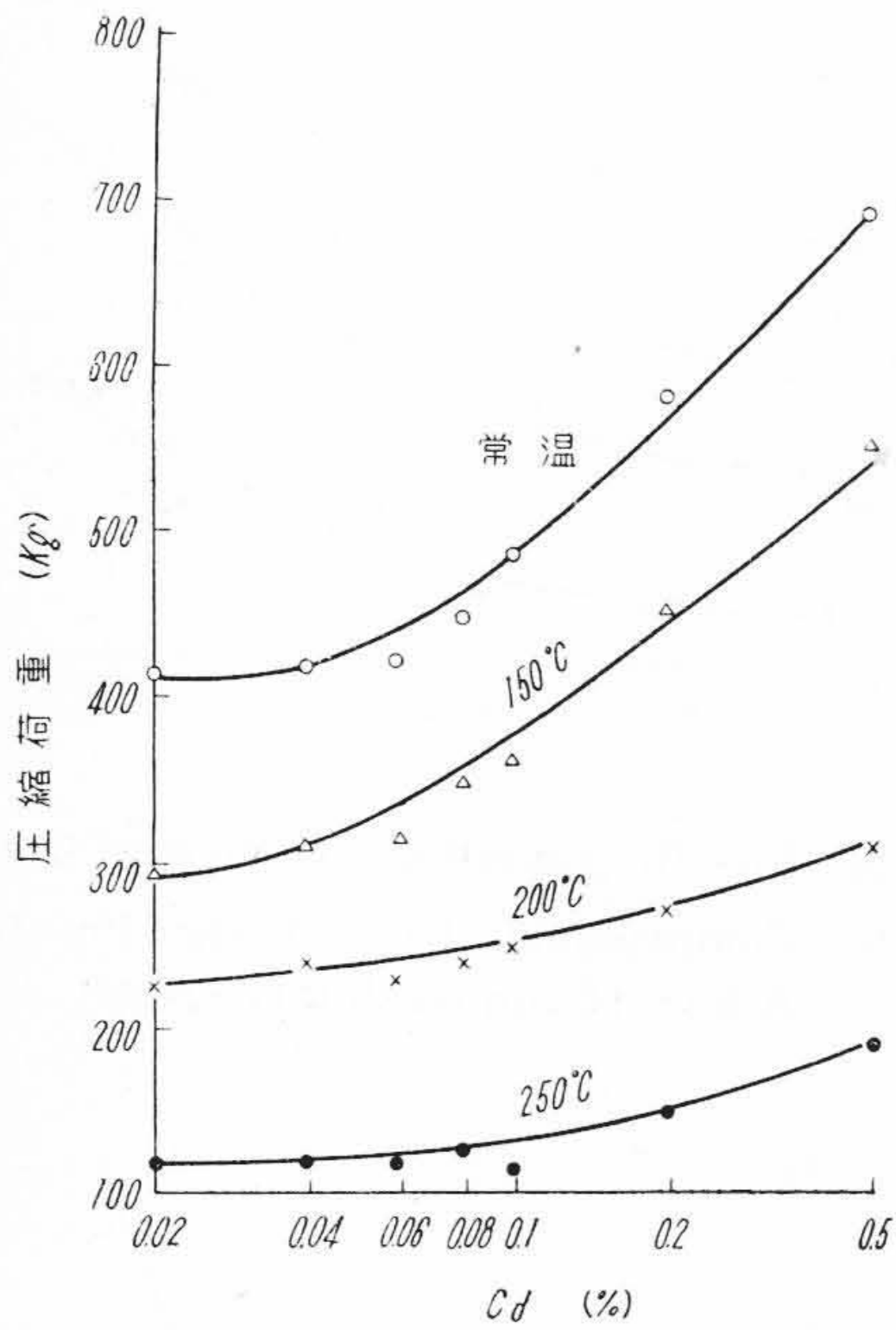
第4図 Pb—As 合金の圧縮試験(圧縮度 50%)
Fig. 4. Compression Test of the Pb—As Alloys (Compressibility: 50%)



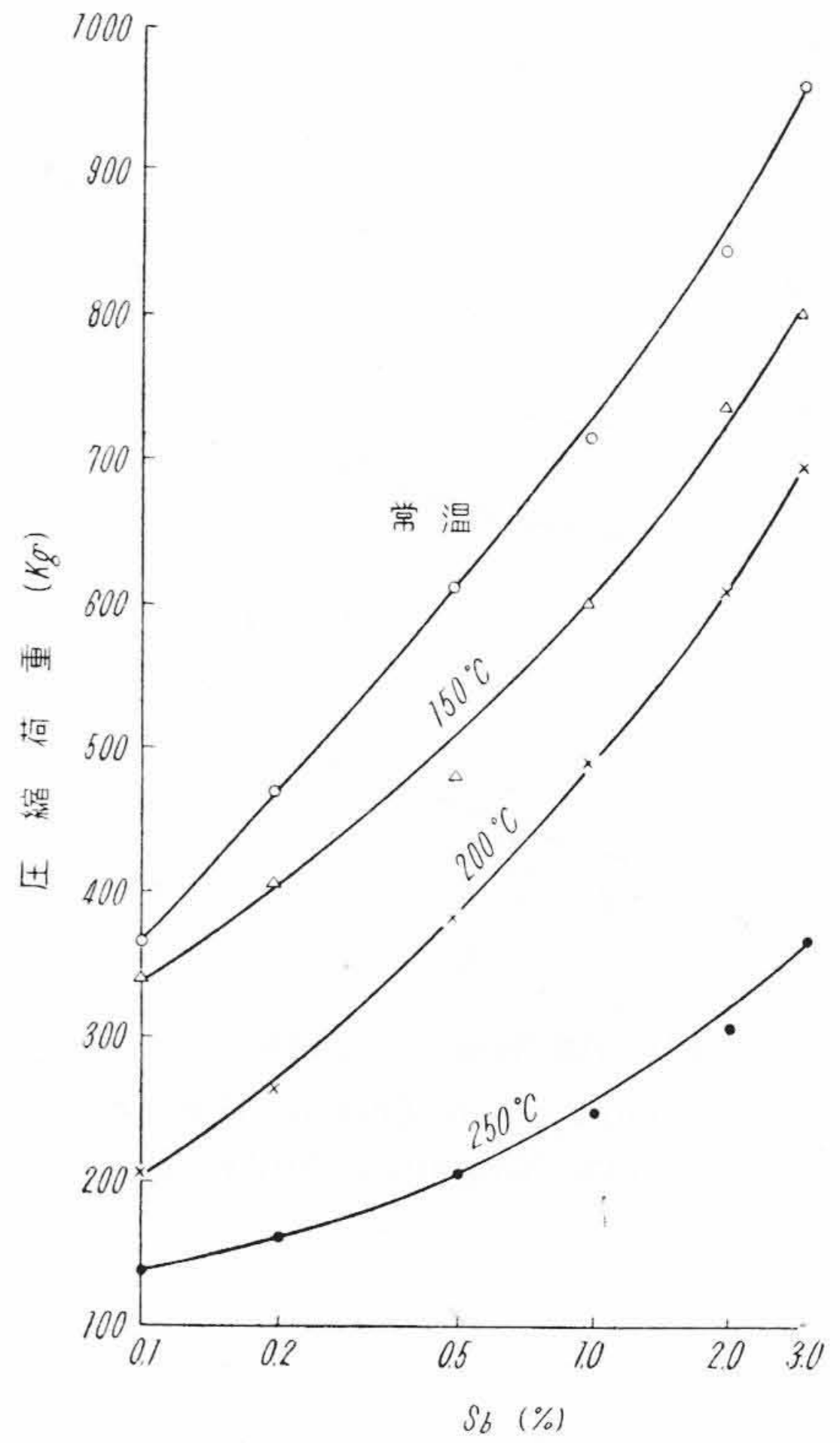
第6図 Pb—Ca 合金の圧縮試験(圧縮度 50%)
Fig. 6. Compression Test of the Pb—Ca Alloys (Compressibility: 50%)

場合には加工度が増大するにつれ圧縮力も増大するが、150°C、200°C、250°C と温度の高くなるにしたがつて圧縮力—加工度の曲線に極大点を生ずるようになる。またその極大点は温度が高くなるにしたがい加工度の小さい方に移動する。つぎに各二元系について第2図のような圧縮力と加工度との関係を求めた。各合金系とも加工度の増加につれて圧縮荷重も単調に増加する。したがって圧縮荷重を比較するにあたって便宜上加工度 50% の場合をとり、圧縮荷重と添加量との関係を各合金系につ

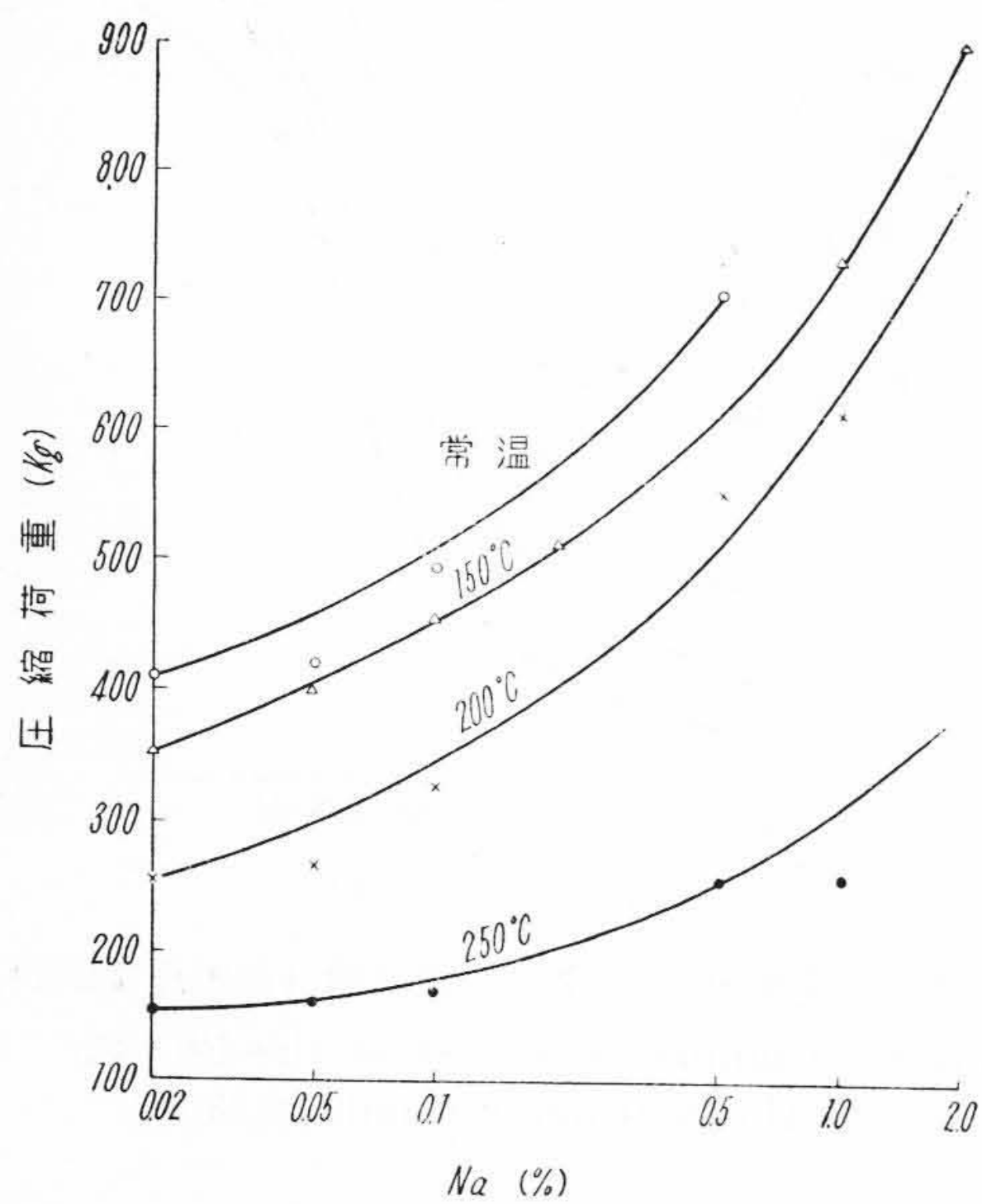
いて図示すると第3図～第12図のようになるなお添加量の少ない場合を明らかにするために添加量%を対数目盛で図示した。



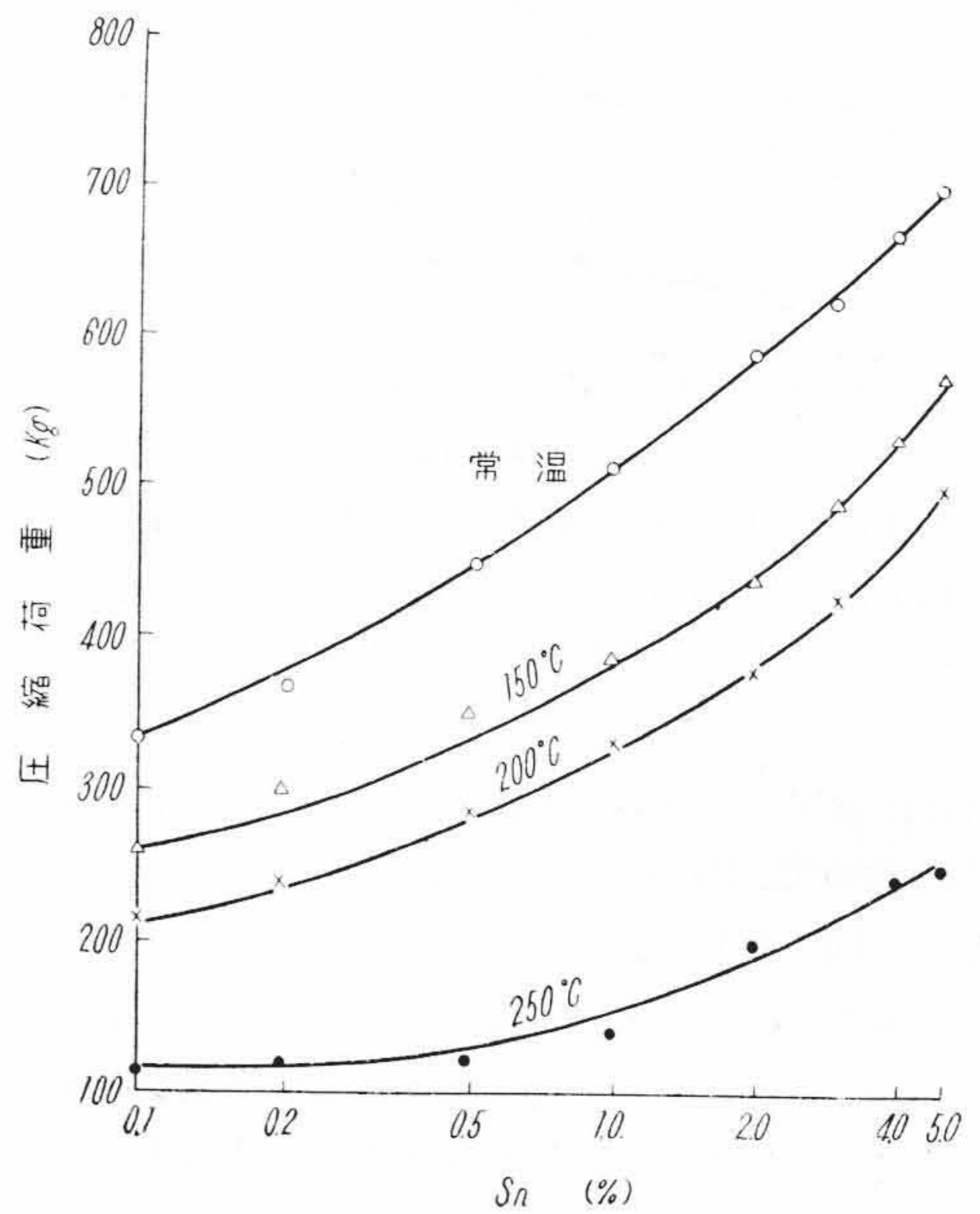
第7図 Pb—Cd 合金の圧縮試験 (圧縮度 50%)
 Fig.7. Compression Test of the Pb—Cd Alloys (Compressibility: 50%)



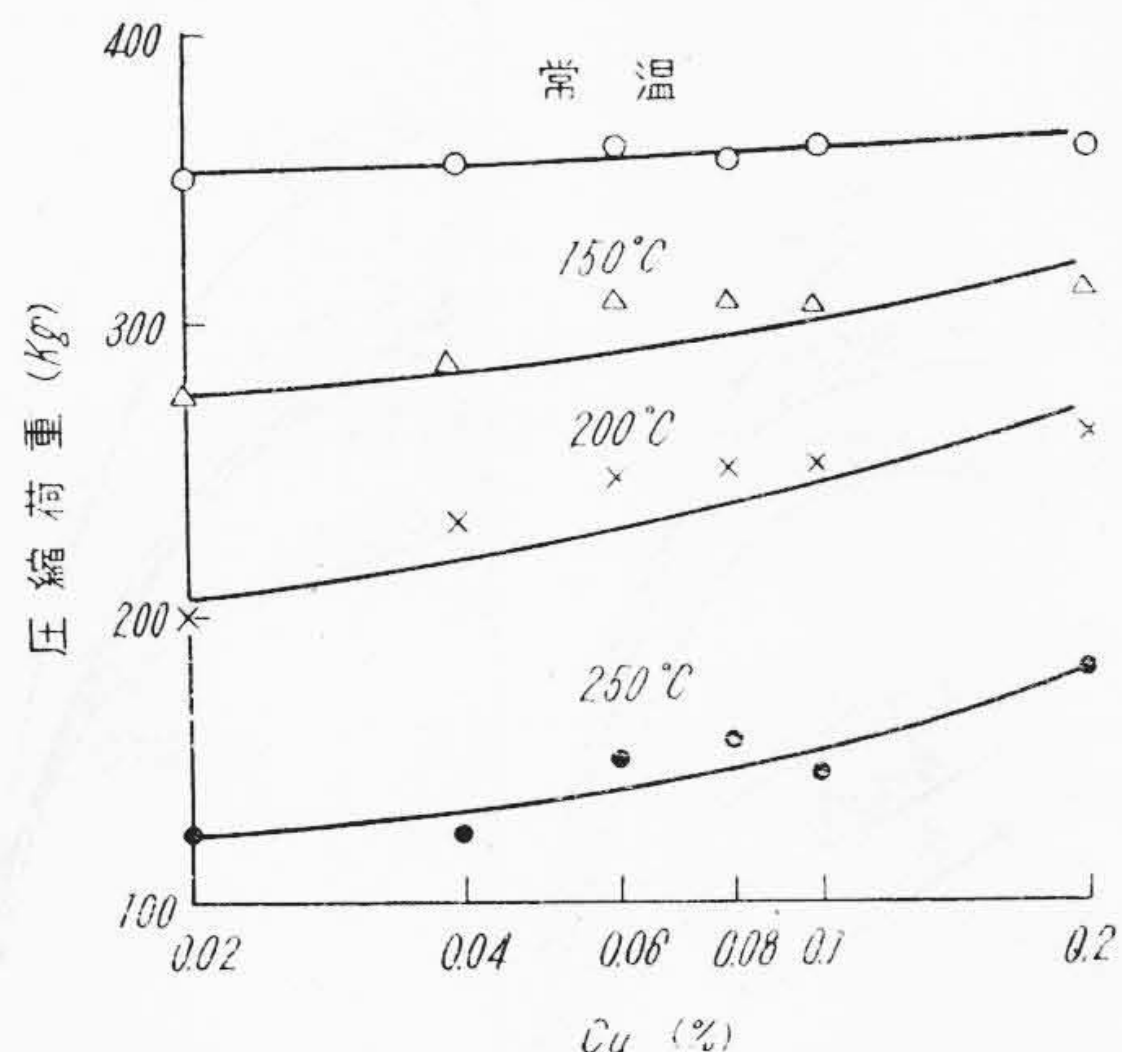
第9図 Pb—Sb 合金の圧縮試験 (圧縮度 50%)
 Fig.9. Compression Test of the Pb—Sb Alloys (Compressibility: 50%)



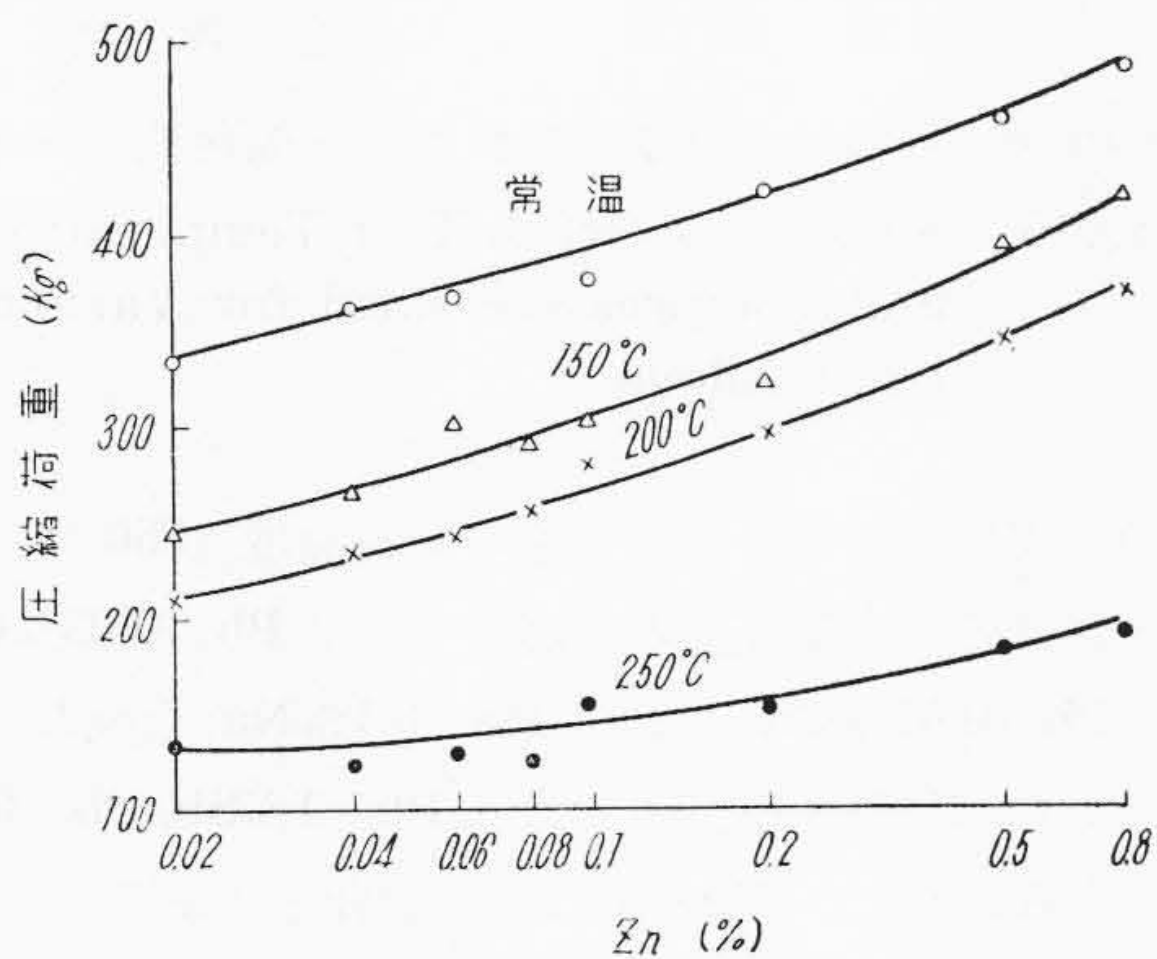
第8図 Pb—Na 合金の圧縮試験 (圧縮度 50%)
 Fig.8. Compression Test of the Pb—Na Alloys (Compressibility: 50%)



第10図 Pb—Sn 合金の圧縮試験 (圧縮度 50%)
 Fig.10. Compression Test of the Pb—Sn Alloys (Compressibility: 50%)



第11図 Pb—Cu合金の圧縮試験 (圧縮度 50%)
Fig.11. Compression Test of the Pb—Cu Alloys (Compressibility: 50%)



第12図 Pb—Zn合金の圧縮試験 (圧縮度 50%)
Fig.12. Compression Test of the Pb—Zn Alloys (Compressibility: 50%)

〔IV〕 実験結果に対する考察

純鉛の場合の真圧縮応力と圧縮度との関係を求めると圧縮度 5% の場合は第13図のようになる。すなわち圧縮力の対数と圧縮温度はほぼ直線関係を示す。ゆえにこの場合には Pearson の式⁽²⁾

$$P = Ae^{-Bt}$$

が適応される。

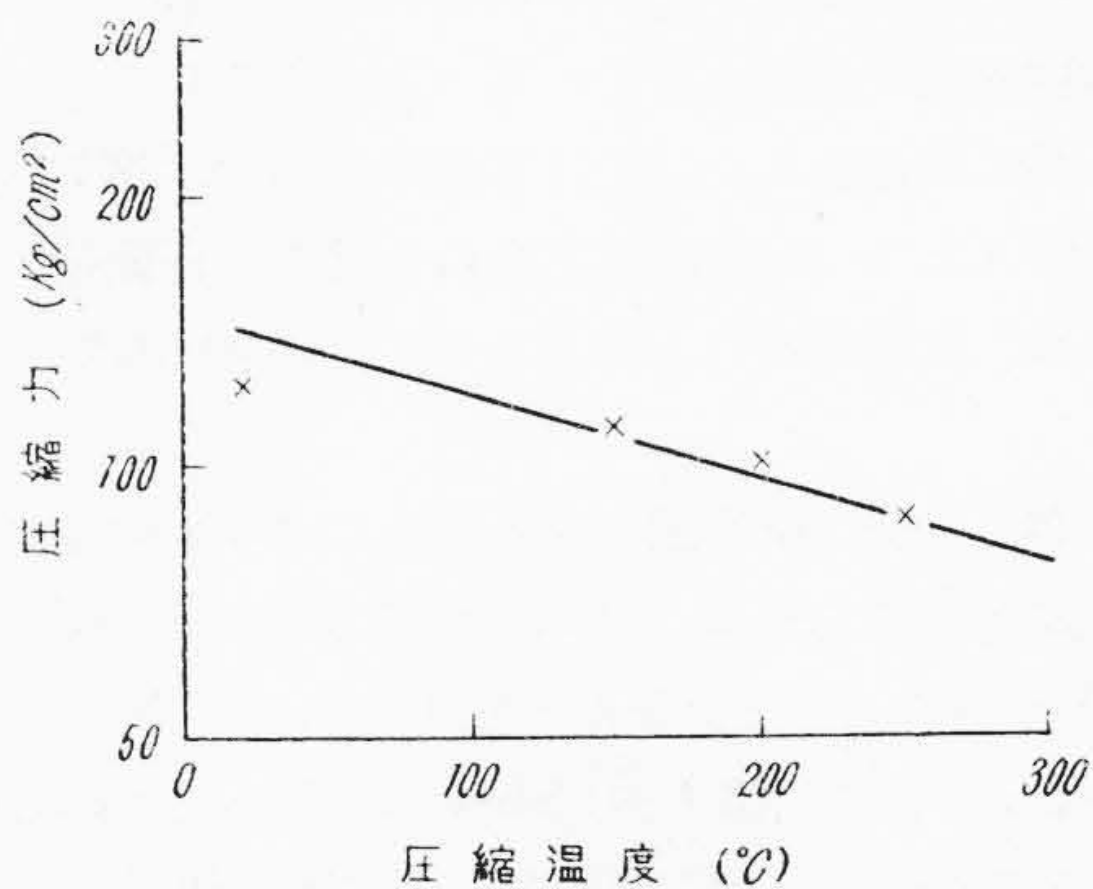
ただし上式において

P: 圧縮応力

t: 圧縮温度

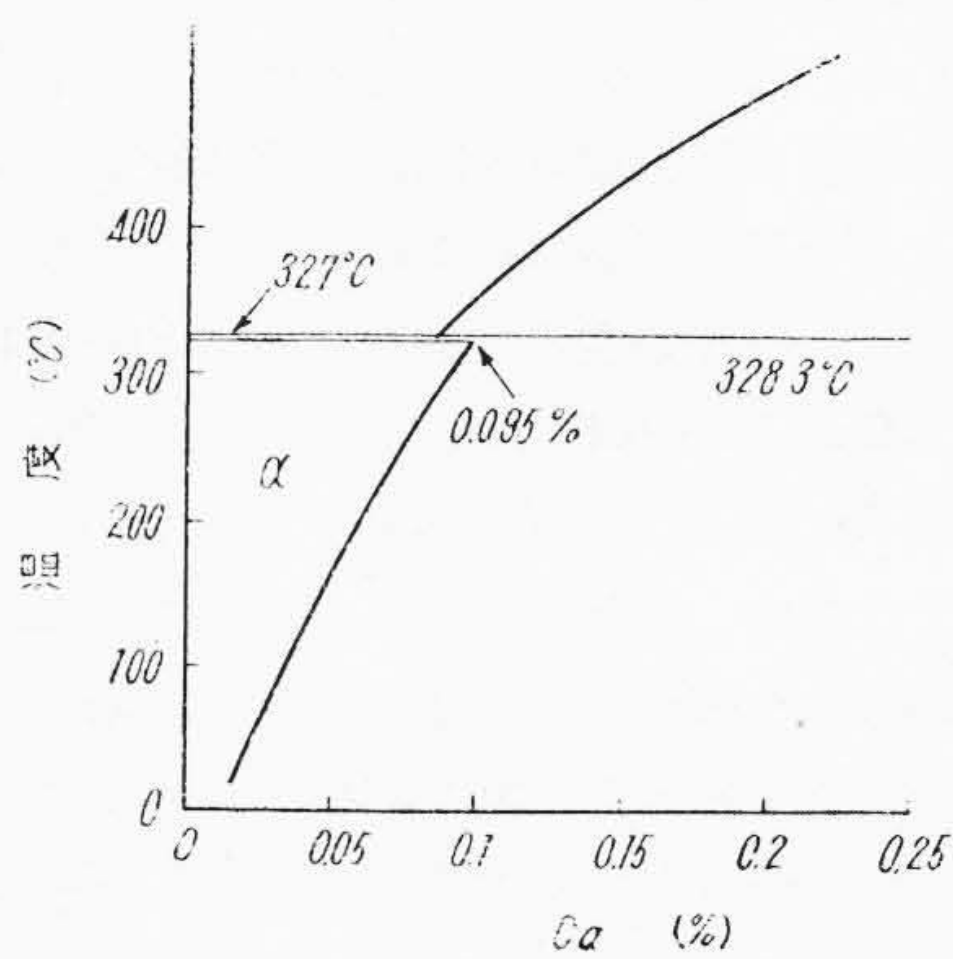
A, B: 恒数

この事実は Bouton 氏⁽⁴⁾ももつと圧縮度の低いところで認めていることである。圧縮度が10%を越すとこの式は適応されない。各二元系合金についても圧縮度の低いところでは関係が認められたが、実験の精度の関係上、明確な結論を引き出すことはできなかった。



第13図 圧縮度 5% の場合における圧縮力と圧縮温度との関係

Fig.13. Relation between Compressive Force at 5 Percentage of Compressibility and Compressed Temperature



第14図 Pb—Ca 二元系状態図
Fig.14. Equilibrium Diagram of the Pb—Ca Binary System

つぎに各二元系合金の高温圧縮性について考察してみる。各合金系ともに、Pb に対する添加量の増大とともに圧縮荷重は増大し、また圧縮試験温度の増大とともに圧縮荷重は減少している。ただし圧縮荷重の温度依存性ならびに添加量に対する変化は合金系により種々変化がある。

Pb—Ag 合金では (第3図) 少量の Ag の添加により圧縮荷重は著しく増大する。またこの合金の特長は試験温度が 200°C までは圧縮荷重が大きい、250°C では圧縮荷重は急に激減する。Pb—As および Pb—Bi 合金は (第4図および第5図)、添加元素とともに圧縮荷重はほぼ直線的に増大する。Pb—Ca 合金は (第6図)、Ca が 0.05% 附近までは各温度における圧縮荷重は Ca 量に対してあまり増大しないが、0.05% 附近から Ca% の増すとともに圧縮荷重は急激に上昇する。この原因については第14図に示した Pb—Ca 二元系状態図⁽⁶⁾からも容易に推察されるように、本系は包晶反応系に属しかつ

溶解度変化もあるので、Ca 0.05% 以上含む合金においては機械的強度変化も著しいものと考えられる。

Pb—Cd 系合金については常温の試験では第7図に示すように Ca を 0.06% 以上含むと著しく圧縮荷重が増大するが、試験温度の上昇とともにこの傾向は消失する。

Pb—Na 合金は第8図にみるように Na% の増加とともに圧縮荷重は 200°C までは急激に増加するが、250°C では Na 量による圧縮荷重の変化も少くなる。

Pb—Sb 合金は (第9図) Sb% の増加とともに圧縮荷重は急激に増大し、第10図に示した Pb—Sn 系と比べて圧縮荷重の添加量依存性がいかに大きいか分かる。

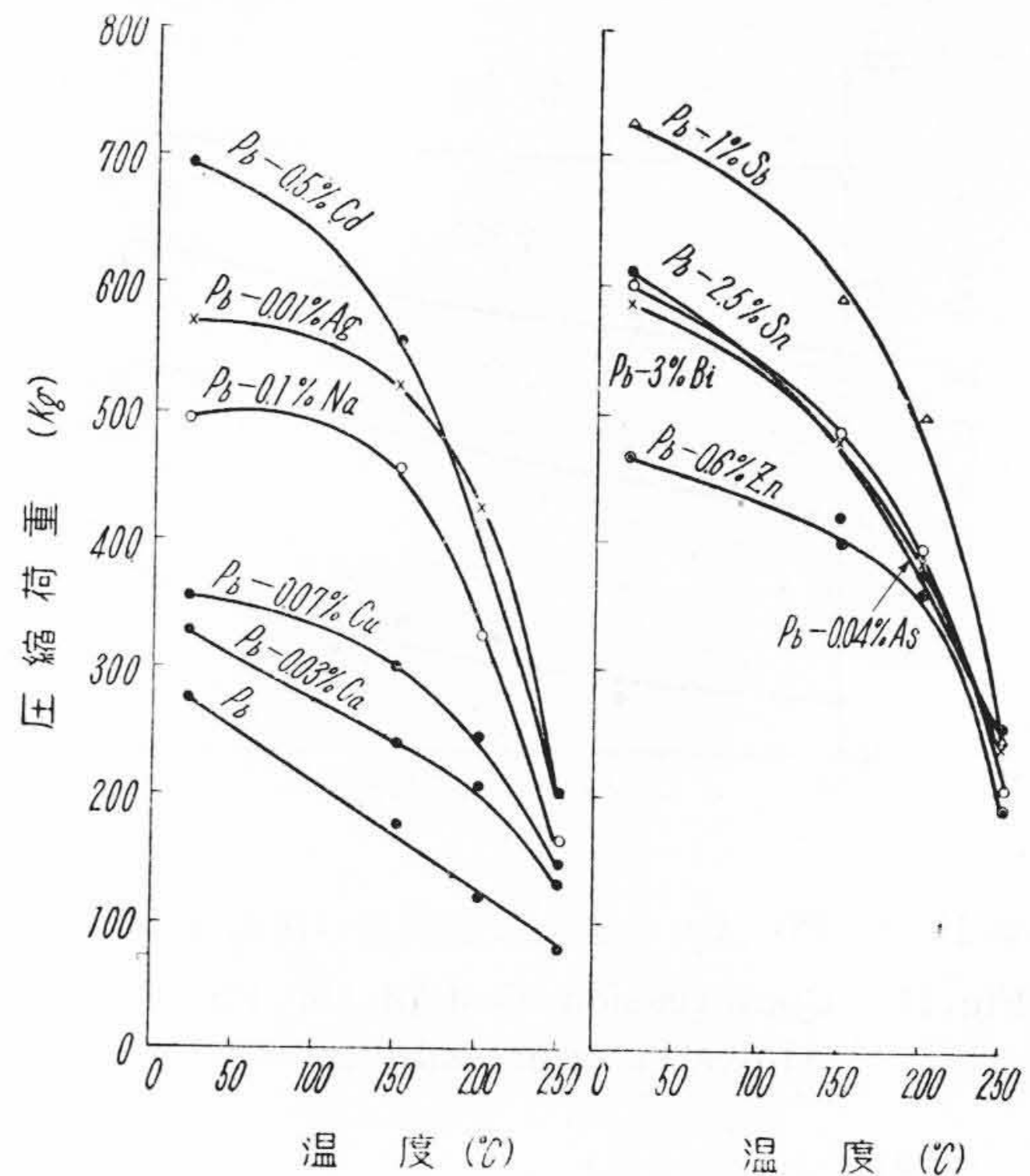
Pb—Cu, Pb—Zn 系合金は、それぞれ第11図および第12図に示すように添加量の変化による圧縮荷重の変化は本実験範囲の組成では最も小さい部類に属する。

つぎに国内または外国でケーブル鉛被用合金として使用されている、または使用された各種二元合金の圧縮度 50% の際の温度と圧縮荷重の関係を第15図に示す。この図から各合金の被鉛温度 (約 250°C) における高温圧縮性を比較すると、圧縮性の良好な合金は Pb—0.03%Ca, Pb—0.07%Cu, Pb—0.1%Na 合金であり、Pb—1%Sb, Pb—0.04%As および Pb—3%Bi 合金などは高温圧縮性が良好ではない。またこの図からわかるように常温における圧縮性の比較がかならずしも高温圧縮性の比較にはならない。また各元素を 0.1% 添加した場合の 250°C における高温圧縮性を比較すると Sn, Sb, Bi, Zn, Cu の場合が良好で Cd, Na がこれにつき Ca, As および Ag を含む場合の高温圧縮性は不良である。

〔V〕 結 言

鉛被用多元系鉛合金の基礎となる二元系合金すなわち As, Bi, Ca, Cd, Cu, Na, Sb, Sn および Zn を微量含んだ 10 種の鉛合金および純鉛について常温、150°C, 200°C および 250°C における高温圧縮性を測定することによつて高温圧縮性を研究した。その結果えられた結論を簡単に列記するとつぎの通りである。

- (1) 純鉛の圧縮試験では Bouton 氏の認めた再結晶の影響は認められなかつたが、この点については測定精度を上げ、また圧縮速度を変えて実験する余地があると考えられる。
- (2) 加工度の小さいところでは、純鉛ならびに各合金において Pearson の式 $P=Ae^{-Bt}$ の関係が成立する。



第15図 各種鉛合金の試験温度と圧縮荷重の関係
Fig. 15. Relation between Test Temperature and Compressive Load for Various Lead Alloys

- (3) 実用鉛被用合金の普通の被鉛温度 (250°C) における高温圧縮性の良好なものは Pb—0.03%Ca, Pb—0.07%Cu および Pb—0.1%Na 合金などであり、圧縮性の悪い合金は Pb—1%Sb, Pb—0.04%As および Pb—3%Bi 合金などである。
- (4) 各元素を 0.1% 添加した場合の 250°C における高温圧縮性は Sn, Sb, Bi, Zn および Cu の場合が良好で Cd, Na がこれにつき、Ca, As および Ag を含む場合の高温圧縮性は不良である。

終りに本研究を行うに当つて御援助を頂いた日立製作所日立電線工場久本課長、山本主任ならびに当機械金属係の人々に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 小野健二：鉛および鉛合金 99 (1942)
- (2) C.E. Pearson; J.A. Smythe: J. Inst. Metals, 45 345 (1931)
- (3) L. Zickrick: Trans. Amer. Inst. Mining and Metallurgical Eng. 99 345 (1932)
- (4) G.M. Bouton, G.S. Phillips: Proc. A.S.T.M., 51 761 (1951)
- (5) 鈴木康次郎：金属 24 545 (1954)
- (6) A.S.M. 篇：Metals Hand-Book, 1186 (1948)