白にされた高級活性炭素の製造に適切なる石炭の埋藏量は必要であると豫想されし以上に多量である。試験の爲に得られる石炭の量が常に少量であつた研究の初期に當つて採用された方法は石炭をグリニッチの燃料研究所に於ける小規模爐で約 480°C で乾溜し、斯様にして得られたる骸炭をボートンの化學的保護研究所實驗室に於ける實驗裝置に依り活性を有せしめる方法であつた。主として研究の後期であるが、其石炭が十分多量に得られた頃には活性化は燃料研究所に於て半工業的裝置で行はれた。

此期間に其工程中の種々多數の結果が實驗され無煙炭及び炭素質炭を含む廣範圍に互る種々の石炭が試験され乾溜が行はれるに先立つて混淆法、煉炭法に就き種々實驗が行はれた。格附塊炭より満足な炭素の生産の成功を獲得せられたので次の階梯は其工程が大工業的規模に於て満足に行はれ得るや否やを決定する事であつた。燃料研究所に於ける乾溜裝置は低温乾溜法に依り無煙性の家庭燃料を製産する實驗の爲に組立てられたる同一設計2組の爐であつた。其爐は實用的に充分な大いさであり、而して工程中第1階梯即ち活性化に使用する事に決定された。此實驗中に於て考へられたる事は實用的規模に於て活性炭素製造用の直立式瓦斯爐使用の可能性であつた。

此式の爐は明らかに工程中の活性化階梯に於ける高温度には適應するけれども、加熱煙道の冷所に於ける爆發の危險を避ける爲に、加熱法の可成の修正が無くしては乾溜階梯に於て充分低温で操作出来るか何うかは疑はしく思はれた。其れ故に特殊の注意が工程中の此方面に拂はれたのである。加ふるに大規模運轉に於てより高き乾溜温度が加工炭素の價値で損ずる事なく許さるゝや否やを決定する爲に種々の實驗が行はれた。其結果は 650°C に於て處理されたる骸炭は 480°C に於て處理されたる骸炭と同様な活性炭素を生ずるけれども、其製品の強度一層大なる事を示した。2, 3 の實際的試験は之等炭素の工業的使用に對する適合性に就て行はれ、溶劑回收の領域に於ては其最良の炭素の活性度は、現在利用されて居る優良な市販炭素の約 75 % の活性度を有する事が判明した。

此結果は頼もしきもので將來の研究は恐らく其等炭素をベンゾール回収に有效ならしむべく石炭炭素の諸性質を修正する方法を發見するだらう事を暗示して居る。(以上)

ゴムの物理的諸恒數値

L. A. Wood

Proceedings of the Rubber Technology Conference, London,

May, 1938, No. 22, 933;

R. Chem. Tech., 1939, **12**, 130

永井宏譯

I. 緒言

本報告は基礎となるべきゴムの物理的諸恒數で既に發表されてゐるものを調査してまとめたものである。此調査は最も信用の置ける各恒數を選択し且最も利用のし安い形式に表示する事を目的として企てたものである。此調査の結果ゴムに關する今日の知識中には尙多くの缺陷のある事が指摘せられ、且今後の研究に對する

計畫に良い指針を與へるのであるが、之等は本調査の目的と同等の重要性を有するものである。ゴムの恒數には全く信用の置けないものであるにも拘らず實際に使用せられてゐるものがあり、且又工業的にも學術的にも使用すべく餘りに其精密度に缺けてゐるものもある。細心なる注意を以て測定された結果でも只1回だけの測定で代表的恒數となしてゐる場合がある、斯る場合には獨自の確定を必要とする。

Whitby によつて調査されたゴムの物理的恒數及び其他の性質は 1927 年に“International Critical Tables”中に發表せられ又最近 Dawson 及び Porritt は“Rubber, Physical and Chemical Properties”と云ふ書籍の記念的出版をしたが、此の中には 1934 年以前に發表されたゴムに關する測定値を残す處なく完全に集録してゐる。本調査は各物理的恒數の最も正確な一つの値を選ぶのが目的であつて Dawson 及び Porritt の綿密なる取扱ひとは觀點に於て異なるのである。此の調査の範圍は基礎的意義があると思はれる性質 16 種を集めたもので比較的制限されてゐる譯である、従つて或特殊な試料のみに就ての特性であると思はれるものよりは寧ろゴムの一般的恒數であると思はれる様な値を選んだ、又其數値も工業的に重要であると思ふよりは寧ろ科學的に興味のあるものを選定した。選擇した値を他の數値と比較する爲に 16 種の性質に就て發表されてゐる凡ての數値を記載した。

1. 性質の選定

本調査は數値を以て表はし得る様な性質のみに就て考慮する事とし、ゴムに就て一般に廣く測定されてゐる多數の性質をも除外することとした。之等の性質の或ものは正確に決定する事の出来ないものがあり、或は又其數値が測定に用ひた特殊な型の裝置のみに就て意義を有するものもある。此種に屬するものには硬度、脆弱度、可塑性、磨耗抵抗、引裂抵抗、疲勞等の性質がある。

第2種に分類さるべき性質は一般にゴムそれ自身の特性とは看做されず、試験片自體の性質によつて起ると考へられる様な値であつて、例へば其數値が試験片の大きさ、純度或は以前の經歷等に關するものである。此種に屬するものには普通に測定されてゐる殆んど凡ての抗張性、老化性、電氣的破壊性等有る。之等の性質が實際的の試験に廣く用ひられてゐるのは特殊試料に對しては特に大きな變化を示すからである。之等の性質に就ては本文中には述べない事とする。

以上除外した性質と此處で取扱つた性質との差別は勿論絶對的のものではない、従つて將來に於てはそれ等を追加し或は或程度の省略の下に加へる事が可能となるであらう。

2. 數値の選定

多くの場合測定は幾人かの人によつて行はれて居り且其數値が互に近似してゐる場合が多いのであるが、之等の平均値を取ることは絶對に避ける事とした。最も信用が置けると思はれる唯一つの値を選定した。然し乍ら特殊な場合に就て示したものを除いては此等の數値は測定者が異なる事によつて變化するものなるが故に如何なる場合に就ても之が最後的なものであるとは考へられない。それ故に此處では其選定が多少自由であり、且又古く發表された論文に就ては其内容例へば採用した方法、測定に用ひた試験片の數、取入れた變數の範圍及び類似の諸恒數等に就て明瞭なるものに基礎を置かなくてはならない。今日迄の多くの研究の範圍内では此等の基礎を論ずるのは不可能であるが、斯る討論が出來得る様になる事は望ましい事である。

以上の如き諸點を考慮に入れて求めた各測定の限界の數字 (limited number) の上から恒數の許容誤差の値を見出す事が出來ない。各場合に於て最後の數字は疑はしく且多くの場合最後から2桁目の數字は不確實である。

恒數の値は 1 atm, 25°C の場合を示し、他の條件で測定されてゐるものは之の條件に補正換算を施した。25°C なる溫度は恒温槽の調節に便なるため廣く用ひられてゐる溫度である。25°C からの溫度變化による性質の變化率は出来るだけ示す事とした。

3. 考 究 さ れ た ゴ ム の 状 態

本文ではゴムの状態として次の4つの形を考究する事とした、即ち精製ゴム炭化水素、市販生ゴム、2% の化合硫黄を含む軟質加硫ゴム及び 32% の化合硫黄を含む硬質ゴムとである。

市販の生ゴムは smoked sheet でも或は pale crepe でもゴム炭化水素として約 93% 及び他の成分 7% より成つてゐる。生ゴムの或物理的性質は非炭化水素成分によつてかなりの影響を受けるが他の成分は比較的影響が少い。此處に引用してゐる多くの數値は United States National Bureau of Standards に於て精製ゴムに就て行つた結果である。生ゴムの精製は先づ 190°C の水で十分に蒸煮 (digest) し、次に水及びアルコールを以て蛋白質の加水分解生成物、樹脂、鹽及び他の成分を抽出した⁽¹⁾。斯くて非炭化水素含有量は 0.5% 以下に減少した。未精製生ゴムに對して測定した値も亦必要に應じて示した。

加硫ゴムの或恒數に就ては硫黄含有量 0~32% の全範圍に互つて測定した報告がある。此處では單純化する爲に唯二つの化合物を取扱ふ事とした、即ち第1は 2% の化合硫黄を含む軟質加硫ゴムで純ゴムより作つたもの、第2は 32% の硫黄を含むエボナイト或は硬質ゴムである。第1のものはそれ自身實用的な化合物ではないが簡單であり且此處で考へられてゐる様な物理的性質と實際使用されてゐる軟質加硫ゴムとを比較し得る點から之を採用する事とした。之等の化合物を作るにはゴムと硫黄とを混合し殆んど凡ての硫黄が化合する迄加硫するのであつて少くとも 15 時間を要する。稀には加硫時間を短縮する爲に促進剤を用ひる事もあるが之は項を改めて述べる事とする。

II. 諸 恒 數 の 一 般 表

第1表は物理的恒數として選んだ値を總括したものである。他の諸表は個々の數値の討論と他の測定者が選定した値との比較のために示したものである。

第1表 ゴムの物理的恒數

(1 atm, 25°C)

恒 數	單 位*	乗ずべき 値	精 製 ゴ ム (文獻番號)	市 販 生 ゴ ム (文獻番號)	軟 質 加 硫 ゴ ム 2% S (文獻番號)	硬 質 ゴ ム 32% S (文獻番號)
單 位 セ ル	Ångström		(2, 3, 4)			
		—	$a = 8.54 \pm 0.05$ $b = 8.20 \pm 0.05$ (纖維軸) $c = 12.65 \pm 0.05$ $\beta = 83^\circ 20'$			
密 度 ρ (第2表)	g. cm.^{-3}	—	0.9060 (1)	0.911 (5)	0.923 (6)	1.173 (6)
$\frac{d\rho}{dT}$	$\text{g. cm.}^{-3} \cdot \text{deg.}^{-1}$	$\times 10^{-6}$	-595 (1)	-620 (5)	-611 (6)	-241 (6)
膨 脹 率 $\frac{1}{V} \frac{dV}{dT}$ (第3表)	deg.^{-1}	$\times 10^{-6}$	670 (7)	670 ^d	661 (6)	194 $\left(\frac{8}{6}\right)$
$\frac{d}{dT} \left(\frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \right)$	deg.^{-2}	$\times 10^{-9}$	700 (7)	700 ^d	—	500 ^a (8)

熱	熱傳導度 (第 4 表)	$\text{j sec}^{-1} \text{cm}^{-1} \text{deg}^{-1} \times 10^{-6}$ $\text{cal sec}^{-1} \text{cm}^{-1} \text{deg}^{-1} \times 10^{-6}$		1340 (9,12)	1430 ^b (10)	1625 ^a (11)
				320 (13)	342 ^b	388 ^a
比 熱	C_p	$\text{j g}^{-1} \text{deg}^{-1}$ $\text{cal g}^{-1} \text{deg}^{-1}$	1 880 (14) 0 449	—	3 14 ^c (15) 0 510 ^c	1 431 ^c (15) 0 341 ^c
	$\frac{d C_p}{dT}$	$\text{j g}^{-1} \text{deg}^{-2}$ $\text{cal g}^{-1} \text{deg}^{-2}$	$\times 10^{-3}$ $\times 10^{-3}$ 5 0 (14) 1 2	—	—	—
融解熱	(11°C)	j g^{-1} cal g^{-1}	16 7 (14) 3 99	—	—	—
	燃燒熱 (第 5 表)	j g^{-1} cal g^{-1}	$\times 10^{-3}$ $\times 10^{-3}$ 45 25 (16) 10 82	—	44 45 (16) 10 63	33 11 (16) 7 92
機 械 的	壓縮率 $\frac{1}{V} \frac{dV}{dP}$	bar^{-1}	$\times 10^{-6}$ 53 7 (6)	—	51 0 (6)	24 3 (6)
	$\frac{d}{dT} \left(\frac{1}{V} \frac{dV}{dP} \right)$	$\text{bar}^{-1} \text{deg}^{-1}$	$\times 10^{-9}$ 260 (6)	—	262 (6)	110 (6)
ポアッソン比 (伸張 300%以下)	—	—	—	—	0 500 ^b (17)	0 2 (18)
	音の速度 v	m sec^{-1}	—	—	37 ^a (19)	1560 ^a (20)
光	屈折率 n_D (第 4 表)	—	—	1 5190(21)	1 5190 ^d	1 5264(21)
	$\frac{dn_D}{dT}$	deg^{-1}	$\times 10^{-6}$ 350 (21)	350 ^d	350 (21)	—
分散 $n_{4861}-n_{6563}$	—	—	—	0 0330(21)	—	—
	應力光學係數	brewster	—	—	2100 ^b (23)	106 ^a (24)
電氣	透電係數 (1,000 cycles/sec)	—	—	2 37 (25) (1)	2 45 (5)	2 68 (25)
	力率 (1,000 cycles/sec.)	—	$\times 10^{-3}$ 1 6 (25)	1 8 (25)	1 8 (25)	5 1 (25)
傳導度 (1 分)	mho cm^{-1}	$\times 10^{-18}$ 23 (25)	420 (25)	13 (25)	15 (25)	—

* 略 字

- a 成分不明 cal カロリー(4 1833 ジュール) J. ジュール
b 促進劑、其他を含む配合物 cm センチメートル m メートル
c 25° 及び 175°C の平均値 deg. 攝氏度 sec 秒
d 精製による影響なき故精製コムと g 瓦

同一値を採用す

III. 單位セルの大きさ

未加硫コムを +10°C ~ -40°C の間に十分に冷却する時は結晶を生じ其性質に變化を來す。加硫ゴムは斯る製作を行つても結晶を認める事は出来ない。然し乍ら未加硫コムでも或は軟質加硫コムでも或限界以上に伸張する時は結晶を生成する。之等の凡ての場合に於て單位セル (unit cell) の大きさには差程大きな差異のない事が X 線的測定によつて明瞭にせられた。

Lotmor 及び Meyer⁽²⁾ の測定及び分析結果は此分野の以前の研究論文中的代表的のもの様に思はれる。氏等は C_6H_6 -單位 8 個を含む單位セルは單斜晶系であり、第 1 表の如き大きさを持つてゐる。b 即ち纖維の軸は伸張の方向であり且 β は c 及び a 軸間の角である。組成の明らかでない伸張ゴムに就て求めた之

等の結果は Barnes⁽³⁾ によつて融點 41°C の冷凍生ゴムに就て又 Clark, Wolthuis 及び Smith⁽⁴⁾ によつて伸張ゴム、エーテル溶液より結晶せしめたゴム、溶剤なしに得たる結晶等に就て夫々確認された。而して之等は實驗誤差の範圍内に於て Lotmar 及び Meyer の分析及び測定の結果と一致する。

IV. 密度及び膨脹率

1. 密度

密度及び比重の測定結果は第 2 表に總括して示した。比重の値は數量的に密度の g/cc. と同じになる様に 4°C に於ける水と比較したものを示した。茲に必要なのは第 1 表に示した溫度係數を用ひて密度を 25°C に補正した事である。

第 2 表の結果は精製ゴムの場合には Weber⁽²⁶⁾ 及び Macallum & Whitby⁽⁷⁾ による方法で精製したものと McPherson⁽¹⁾ 及び Scott⁽⁶⁾ の方法によるものとは異なる結果を與へる事を指摘してゐる。Bondy⁽²⁸⁾ によつて用ひられた精製法に關しては何等詳細な記述がない。Scott の測定値から精製ゴムの密度を求めるには化合硫黃 3% より 0% 迄補外する事が必要であつた。

第 2 表 密 度

測 定 者	年 號	文獻番號	報告されてゐる 數 値 ^a	溫度(°C)	25°Cに於ける 密度 (g/cm ³)
精 製 ゴ ム					
Weber	1903	26	0.911	17	0.905
Macallum & Whitby	1924	27	0.9237	20	0.9207
Bondy (Staudinger)	1930	28	0.9238	20	0.9208
McPherson	1932	1	0.9060	25	0.9060*
Scott	1935	6	0.9078 ^f	25	0.9078
精 製 ゴ ム の 平 均 値	—	—	—	—	0.9121
未 精 製 生 ゴ ム					
Weber	1903	26	0.915 ^c	17	0.909
	—	—	0.931 ^d	17	0.925
Bunschoten	1921	29	0.912	15	0.905
	—	—	0.915	15	0.908
	—	—	0.917	15	0.910
Kirchhof & Matulke	1924	30	0.920	20	0.917
Macallum & Whitby	1924	27	0.9217	20	0.9186
Van Rossem	1924	31	0.909	25	0.906
Geiger	1925	32	0.920	16	0.914
Feuchter	1926	33	0.935	15	0.928
Curtis, McPherson & Scott	1927	5	0.9112	25	0.911*
Feuchter & Hauser	1929	34	0.917	15?	0.910
Van Rossem & Lotichius	1929	35	0.920	15	0.913
Kimura & Namikawa	1929	36	0.908	25	0.908
Bekkedahl & Wood ²	1937	—	0.914	25	0.914
Whitby	1937	37	0.913	15	0.906
	—	—	0.917	15	0.910

	—	—	0.922	15	0.915
	—	—	0.925	15	0.918
Whitby	1937	38	0.923	15	0.916
	—	—	0.918	15	0.911
未精製生ゴムの平均値	—	—	—	—	0.9130
軟質加硫ゴム (2 %硫黄)					
Curtis, McPherson & Scott	1927	5	0.923 ^a	25	0.928
Kimura & Namikawa	1929	36	0.925 ^a	25	0.925
Scott	1935	6	0.923 ^b	25	0.923*
軟質加硫ゴムの平均値	—	—	—	—	0.925
硬質ゴム (硫黄 32 %)					
Curtis, McPherson & Scott	1927	5	1.172 ^a	25	1.172
Kimura & Namikawa	1929	36	1.174 ^a	25	1.174
Church & Daynes	1935	39	1.177 ^a	15	1.175
Scott	1935	6	1.173 ^b	25	1.173*
硬質ゴムの平均値	—	—	—	—	1.174

* 第1表に選定した値

d 最高値

a 未精製生ゴムと硫黄との化合物

e 多くの場合に於て比重

b 精製ゴムと硫黄との化合物

f 加硫ゴムより硫黄 0 迄補外した値

c 最低値

g 未発表の研究

生ゴムの密度に就て見られる様な變化は恐らく試料の種類による差異であつて測定の誤差ではない。唯二つの例外がある爲に其値は 0.905 及び 0.919 g/cm³ の間に存在してゐる。

加硫による密度の變化は實用上重要な關係を有するものである。第2表から求めた次の數値を比較する時は2%の硫黄を配合して加硫する際に起る密度の變化率は精製せるものも、粗製のもの即ち市販の生ゴムの場合も全く同様である事を示してゐる。

ゴムの種類	密度 (g/cm ³)		
	未加硫	加硫	差
粗製生ゴム	0.911	0.928	0.017
精製ゴム	0.9060	0.923	0.017

粗製ゴムに關する測定は同じ論文に報告されてゐるが精製ゴムの測定は同じ研究室の他の人によつて行はれてゐる。

報告されてゐる數値から見ると硬質ゴムの密度はゴムを精製した事によつて著しい差異を示してゐる様にも思はれない。

25°C に於ける密度換算に必要な溫度に關する密度の變化率は第1表に示した様な夫々の測定者の値を基として算出した。加硫ゴムの場合には溫度に對する比容積の變化率を用ひた。溫度 T に於ける變化は次の如く容易に示される。

$$\frac{d\rho}{dT} = -\frac{1}{V_a^2} \cdot \frac{dV_a}{dT} \dots\dots\dots (1)$$

茲に ρ 及び V_a は夫々物質の密度及び其逆數即ち比容積を示す。(1) 式に Scott の數値⁽⁶⁾ を挿入すれば軟質加硫ゴム及び硬質ゴムに對する第1表に示した様な値が得られる。

2. 膨 脹 率

物質の熱膨脹率は T を溫度、 V を物質の體積と假定すれば $\frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dT}$ で與へられる。體膨脹係數は膨脹率と同じ意味に用ひられる。然し乍ら時としては 0°C の膨脹率の値に限定せられ或は單に dV_a/dT を意味する場合に用ひられる事もある、茲に V_a は比容積である。

ゴムの膨脹率の値は文獻中の測定値より計算して第3表に示した。原報告に於ては此等の値は溫度に對する密度の變化率で示されてゐるが次の關係式より膨脹率を計算した。

$$\frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dT} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dT} \dots\dots\dots (2)$$

膨脹率は生ゴムの精製により其變化を認めざる故それ等の値は特に分類しなかつた。

第 3 表 體 膨 脹 率

測 定 者	年 號	文 獻 番 號	測定溫度 範圍($^\circ\text{C}$)	報告された 値 $\text{deg.}^{-1} \times 10^{-6}$	相當する 平均溫度 ($^\circ\text{C}$)	25 $^\circ\text{C}$ の膨脹率 $\text{deg.}^{-1} \times 10^{-6}$
生 ゴ ム						
Russner	1882	40	20~30	668 ^b	25	668
Curtis, McPherson & Scott	1927	5	15~40	680 ^{c,k}	27.5	678
Kimura & Namikawa	1929	36	0~85	620 ^c	30	617
McPherson	1932	1	0~60	657 ^d	30	654
Bekkedahl	1934	7	-72~+85	670 ^d	25	670*
Scott	1935	6	10~85	662 ^{d,k}	47.5	651
生ゴムの平均値	—	—	—	—	—	656
軟質加硫ゴム						
Lebedev	1881	41	—	970 ^a	—	—
Lundal	1898	42	0~60.7	763 ^f	30	—
—	—	—	—	562 ^f	30	—
Curtis, McPherson & Scott	1927	5	15~40	670 ^e	27.5	—
Kimura & Namikawa	1929	36	0~85	615 ^e	42.5	—
Bekkedahl	1934	7	-70~40	650 ^{d,e}	-15	—
Dawson & Parris	1935	43	12~30	654 ^g	21	—
Scott	1935	6	10~85	661 ^{d,e*}	47.5	—
Holt & McPherson	1936	17	-20~+100	656 ^{i,m}	25	—
硬 質 ゴ ム (硫黄 32%)						
Kohlrausch	1873	44	17~25	231 ^{a,j}	21	233
—	—	—	25~35	253 ^{a,i}	30	251
Mayer	1891	8	0~100	194 ^b	25	194*
Dorsey	1908	45	-180~+20	202 ^{a,j}	0	214
Souder & Hidnert	1919	46	20~60	240 ^{a,j}	40	232
Curtis, McPherson & Scott	1927	5	15~40	200	27.5	199
Kimura & Namikawa	1929	36	0~85	150	20	153
—	—	—	—	170	40	163
—	—	—	—	200	60	183
—	—	—	—	270	80	247

Church & Daynes	1935	39	20~50	197	35	192
Scott	1935	6	10~85	205 ^d	47.5	194*
硬質ゴムの平均値	—	—	—	—	—	205

- * 第1表に選定した値
- a 成分不明
- b パラゴム
- c スモークドシート
- d 精製ゴム
- e 2% のSを含む化合物
- f “2.5~3% のSを含む Grey ゴム”
- g 5.26% のSを含む化合物
- h 34% のSを含む化合物
- i 促進剤其他を含む化合物（ポアソン比の條に記載）
- j 線膨脹率を測定した
- k 加硫ゴムより硫黄 0% に補外した値
- m 25°C に對し計算した値

5% 以下の硫黄を含んだ軟質加硫ゴムに就て測定した値は 2% の硫黄を含むものゝ中に1群とした、之は硫黄含有量による膨脹率の變化は切棄てゝよい程小さい値であると云ふ Scott⁽⁶⁾ の研究に基くものである。軟質加硫ゴムの多くの測定者中には其溫度係數を測定したものが見當らない、故に之等の値は 25°C の溫度に補正する事が出来ない。

三つの場合の一つとして硬質ゴムの線膨脹率が測定された、若し之の値が物質の方向により性質の差異のない事が明らかであれば線膨脹係數を3倍する事によつて體膨脹率が得られる。之と類似の方法は此の例に於ても容易に證明される。

溫度に對する膨脹率の變化率を決定する事は極めて困難である、之は直接測定した量の第2次微係數を含むが爲である。硬質ゴムに對しては Dorsey⁽⁴⁵⁾ の測定により約 $430 \times 10^{-9} \text{ deg.}^{-2}$ が與へられてゐるが、之は第1表の値と近似してゐる。

V. 熱 恒 數

熱恒數に就ては第1表にジュール及びカロリーの兩單位で示したが之等が文獻に表はれてゐる値である。此方面の最近の精密な測定は電氣的エネルギーによる方法であつて、其結果が直ちにジュールで得られる。1 カロリーは 4.1833 ジュールに換算せられ値は殆んど 15 度カロリーで代表されて居り一般に廣く用ひられてゐる。

1. 熱 傳 導 度

熱傳導度は單位の厚さを有する物質の單位斷面積を通過して單位溫度差の下に單位時間中に厚さの方向に傳導によつて移動する熱の量で決定される。此恒數は工業的にかなりの重要性を有するのであるが、不幸にして高い精密度の値を得るには實驗的に極めて困難が伴ふものと思はれる。接觸部に於ける熱抵抗の除去、例へば表面に於ける空氣薄膜を排除するが如き事柄は特に大切な點である。

第 4 表 熱 傳 導 度

測 定 者	年 號	文 獻 番 號	平均溫度 或は範圍 (°C)	報告されてゐる値 cal. sec. ⁻¹ . cm. ⁻¹ . deg. ⁻¹ × 10 ⁻⁶	25°C に於ける 傳 導 度 cal. sec. ⁻¹ . cm. ⁻¹ . deg. ⁻¹ × 10 ⁻⁶
生 ゴ ム					
Lees	1892	49	25~30	380	—
Griffiths & Kaye	1923	9	25	320*	—
Williams	1923	12	45~100	320*	—

Barnett	1934	13	—	320*	—
生ゴムの平均値	—	—	—	335	—
軟質加硫ゴム					
Herschel, Lebour & Dunn	1879	50	49	340 ^b	—
	—	—	46	440 ^c	—
Van Dusen	1920	51	—	420 ^e	—
A. S. T. M.	1930	10	—	343 ^{d*}	—
Weh	1937	52	45	361 ^e	—
軟質加硫ゴムの平均値	—	—	—	381	—
硬質ゴム					
Herschel, Lebour & Dunn	1879	50	49	360 ^e	355
	—	—	—	380 ^e	375
Lees	1892	49	25~35	400 ^e	399
Lees	1898	53	33	424 ^e	422
	—	—	51	410 ^e	404
	—	—	63	398 ^e	389
Dina	1899	54	6~90	375 ^e	370
Eucken	1911	48	-190	330 ^a	378
	—	—	-78	365 ^e	388
	—	—	0	371 ^e	377
Niven & Geddes	1912	55	20	421 ^e	422
Barratt	1915	56	20	136 ^e	137 ^a
	—	—	100	131 ^e	114 ^a
Giacomini	1918	57	0	378 ^e	384
Taylor	1919	58	25~50	380 ^e	377
Van Dusen	1929	11	25	388 ^e	388*
Vernotte	1932	59	—	410 ^e	410
Stephens	1933	60	17	415 ^e	417
硬質ゴムの平均値	—	—	—	—	394

* 第1表に選定した値

a 平均値を出す際除外した値

b “red rubber” 試料

c “grey rubber, 殆んど純ゴム” 試料

d ボアッソン比の條に述べたものと同

一試料

e 成分不明

第4表はゴムの熱傳導度に関する測定結果を綜合して示したものである。硬質ゴムの場合のみは溫度係數も評價する事が出來た。Van Dusen⁽¹¹⁾は主としてEucken⁽⁴⁸⁾の測定値を基として約 $960 \times 10^{-9} \text{ j. sec.}^{-1} \text{ cm.}^{-1} \text{ deg.}^{-2}$ ($224 \times 10^{-7} \text{ cal. sec.}^{-1} \text{ cm.}^{-1} \text{ deg.}^{-2}$)を與へてゐる。

2. 比 熱

熱容量或は恒壓に於ける比熱は數人の研究者によつて測定されてゐる、然し乍ら Bekkedahl 及び Matheson⁽¹⁴⁾の精製炭化水素に就ての測定は我々の目的に對しては以前の凡ての研究の中で最も代表的のものゝ様に思はれる。兩氏の測定は特に注目に價するものであつて炭化水素の結晶形の存在の確認、其の成立する溫度範圍、結果の再現性 (reproducibility) 及び其精密度が使用した裝置によつて可能な範圍内にありや否や等の點

に關して以前の報告と比較してゐる。

McPherson 及び Bekkedahl⁽¹⁵⁾は等式を求め之より種々の硫黄を含有する加硫ゴムの 25°C 及び 175°C の間の平均比熱を計算してゐる。第 1 表に示した之等の値は 25°C に補正したものではなく、25°C から 175°C 迄の温度範囲内に於ける平均比熱である事は特に注意を要する。Joule⁽⁶¹⁾は軟質加硫ゴムに 0.415 cal.g.⁻¹.deg.⁻¹ (1.735 j. g.⁻¹. deg.⁻¹)なる値を與へた。Mayer⁽⁸⁾は硬質ゴムに就て混合法を以て測定し 100°C よりやや低い平均温度に於て 0.33125 cal. g.⁻¹. deg.⁻¹ なる値を與へてゐる。Stephens⁽⁶⁰⁾ は 120°C に於て 0.33 cal. g.⁻¹. deg.⁻¹ なる事を發見した。

Bekkedahl 及び Matheson⁽¹⁴⁾ の研究は 25°C 附近に於て比熱は第 1 表に示した温度の變化率と殆んど一次函数をなす事を示してゐる。

3. 11°C に於ける結晶ゴムの融解熱

11°C 程度の温度に於ける結晶ゴム炭化水素の融解は Bekkedahl 及び Matheson⁽¹⁴⁾によつて 16.71 j.g.⁻¹ (3.99 cal. g.⁻¹) の熱を吸収して行はれる事がわかつた。此値は van Rossem 及び Lotichius⁽³⁵⁾によつて測定された凍結ゴム及び融解ゴムとの膨潤熱の差に與へた 21.1 j. g.⁻¹ (5.05 cal. g.⁻¹) と近似してゐる。ゴム炭化水素は一般に一部分だけが結晶し得ると云ふ假定の下に Parks⁽⁶²⁾は Bekkedahl 及び Matheson の實驗値から計算して完全に結晶した炭化水素に對して約 72.8 j. g.⁻¹ の融解熱を與へた。

4. 燃 燒 熱

ゴムの燃焼熱は第 5 表に示した様に多くの人によつて測定されてゐる。凡て特に指定してないものは種々の様式で精製されたものである。凡ての値は特に温度が與へられてゐる場合には 1 atm の恒壓及び 25°C に於ける燃焼として換算比較した。

第 5 表 燃 燒 熱

測 定 者	年 號	文 獻 番 號	報告されてゐる 値, 恒容, cal.g. ⁻¹ × 10 ³	恒壓に於ける 燃焼熱 j. g. ⁻¹ × 10 ³
生 ゴ ム				
Weber	1903	63	10.669	44.71
Kirchhof & Matulke	1924	30	10.70	44.84
Schläpfer (Geiger)	1925	64	10.70 ^c	44.84
Messenger	1929	65	10.97	45.97
Blake	1930	47	10.547 ^b	44.20
Hada, Fukaya & Nakajima	1931	66	10.495	43.98
Endoh	1932	67	10.703	44.85
Jessup & Cummings	1934	16	(45.239) ^a	45.25*
生 ゴ ム の 平 均 値	—	—	—	44.83
軟質加硫ゴム(硫黄 2%)				
Blake	1930	47	10.395 ^b	43.56
Hada, Fukaya & Nakajima	1931	66	10.45	43.79
Jessup & Cummings	1934	16	(44.44) ^a	44.45*
軟質加硫ゴムの平均値	—	—	—	43.93
硬質ゴム(硫黄 32%)				
Blake	1930	47	8.268 ^b	34.66

Jessup & Cummings	1934	16	(33.10) ^a	33.11*
硬質ゴムの平均値	—	—	—	33.88
* 第1表に選定した値	c 此値は無關係に測定されたものか或は Kirchhof 及び Matulke ⁽³⁰⁾ の測定値と同一のものか否 か明らかでない			
a 恒壓に於けるジュール/g.				
b 未精製ゴム				

Jessup 及び Cummings ⁽¹⁶⁾ は試料の非炭化水素含有量により著しい變化のある事を發見した。一般に灰分含有量を補正した燃焼熱は不純物の存在により減少する事を知つた。未加硫ゴムに對して此處で用ひてゐる値は Jessup 及び Cummings が McPherson ⁽¹⁾ 法で精製したもので灰分含有量 0.02 及び 0.03% なる 2 種の試料に就て測定した値の平均を基としたものである。此値は數種の方法で精製した 13 の試料に就て測定した結果から灰分含有量 0 迄補外して得たものと極めてよく一致してゐる。ゴム硫黄化合物の燃焼熱は一次式によつて計算される、之は Jessup 及び Cummings の結果から發見されたものである。

此溫度範圍内に於ける燃焼熱の溫度係數の計算に必要な比熱の値はゴムに對しては Bekkedahl 及び Matheson ⁽¹⁴⁾ 及び他の反應物質に對しては “International Critical Tables” ⁽⁶⁸⁾, ⁽⁶⁹⁾ から求めた。未加硫ゴムに對して得た結果は $-2.24 \text{ j. g.}^{-1} \cdot \text{deg.}^{-1}$ である、即ち燃焼熱は溫度 1°C 上昇する毎に 2.24 j. g.^{-1} づつ減少する。同様に軟質加硫ゴムの燃焼熱の溫度係數は $-2.21 \text{ j. g.}^{-1} \cdot \text{deg.}^{-1}$ 又硬質ゴムに對しては $-1.77 \text{ j. g.}^{-1} \cdot \text{deg.}^{-1}$ が計算されてゐる。

IV. 機 械 的 恒 數

1. 容 積 壓 縮 率

壓縮率は $\frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dP}$ で決定される、茲に V は P なる壓力の下に於ける物質の容積である。壓力は凡ての方向に作用してゐる單位面積に對する力であり、壓縮率は物質が力に對して横軸の方向に自由に動き得る處の所謂ゴムの壓縮試験とは直接に何の關係も存在しない。

ゴムの壓縮率に關する古い測定は他の物質の場合に比し反對の結果を得てゐる。Adams 及び Gibson ⁽⁷⁰⁾ は最近の研究に於て 1,000 bar (bar は $10^6 \text{ dynes.cm.}^{-2}$ であつて 0.987 atm に當る) の壓で充填劑を含有するもの及び單に 10% の硫黄のみを含む化合物の壓縮率を測定した。Scott ⁽⁶⁾ は 1,000 bar 以下の壓力に於てゴム及び硫黄化合物の全系統に就て測定した。故に Scott の測定を基とした等式は標準狀態に於ける壓縮率を計算するのに用ひた。

壓縮率の溫度及び壓力係數も亦同じ等式より計算した。1 atm に於ける壓縮率と 0 atm の場合との値の差は測定の實驗誤差よりも遙かに小さい事が知られる。

2. ボ ア ッ ソ ン 比

多くの研究者は加硫ゴムを伸張する時の容積の變化を研究したが極少數の人は伸張に際して空泡生成の原因となる處の粒子の粗なる充填劑や他の不均一性のない試料に就て實驗した、斯くてゴムそれ自身中に起る凡ての變化を除いた。最近の多くの研究者によつて研究されてゐる試料は充填劑を含んで居り、又古い研究の多くは “pure gum” 配合物を用ひてゐるが、之には疑もなく化合しない硫黄の粒子が含まれてゐる。

Holt 及び McPherson ⁽¹⁷⁾ によつて研究された “pure gum” 配合物は比較的に不均一性が少ないと思はれるが、次の様な組成をなしてゐる。

(重量比)			(重量比)
ゴ	ム	100	ステアリン酸
硫	黄	2	テトラメチル・チューラム・ダイサルファイド 0.3
亜	鉛	1	加 硫 : 126°C で 30 分

此配合物及び粗なる粒子のない他の配合物の場合には約 300% 迄の伸張では容積の變化のない事が明瞭となつた。此伸張以上では繊維の生成或は結晶に相當した容積の變化をなす。之は既に單位セルに關聯して述べた通りである。

ポアッソン比は試料の縦軸の方向に或力を加へた時横軸に於ける大きさの最小の部分的減少と之に對應する縦軸の大きさの最小の部分的増加との比を云ふのである。容積の變化に對する之等の測定は 300% 或は之れ以下の伸張率で均一なゴムに對してはポアッソン比が 0.500 である事が知られた。伸張率 300% 以上の場合には大きく 0.527 より大きな値が測定されてゐる。普通の組成の硬質ゴムに就て剛體の弾性の測定値から計算する時は 0.2 なる値を示す事が Adams 及び Heaps⁽¹⁸⁾によつて報告されてゐる。

3. 音 の 速 度

一般に壓縮波 (compressional wave) 或は特に音波の速度はそれ自體が恒數であるばかりでなく又出来るだけ斷熱的で且柔粘性流動 (plastic flow) のない状態の下でゴムを傳つて通信を得る事に關して一つの恒數がある。

1874 年 Exner⁽¹⁹⁾ によつてなされた研究は細心の注意を以て行はれ且當時の制限された裝置によつたにも拘らず或種の意義を有する様に思はれる。種々の溫度に於ける測定値から補外により 25°C に於て組成の明らかでない配合物に對して 37 m. sec.⁻¹ なる値が得られた。試験片は單に灰色の棒狀加硫ゴムである事のみが記載されてゐる。此範圍に於ては速度は溫度の上昇に従つて 0.244 m. sec.⁻¹. deg.⁻¹ の割合で減少する事がわかつた。

比重 1.25 g/cm³ の硬質ゴムに就て Irons⁽²⁰⁾は 18°C に於て 1,560 m. sec.⁻¹ なる値が Companile⁽⁷²⁾の測定値より得た値⁽⁷¹⁾即ち 14°C に於て 1,573 m. sec.⁻¹ とよく一致する事を報告してゐる。

VII. 光 學 的 恒 數

1. 屈 折 率

多數の測定者によつて與へられた未加硫ゴムの屈折率はゴムの種類、製法、精製等に殆んど關係のない事を示してゐる。

第 6 表 未 加 硫 ゴ ム の 屈 折 率

測 定 者	年 號	文 獻 番 號	報 告 され て 値 n_D^T	溫 度 $T(^{\circ}\text{C})$	25°C の 屈 折 率 n_D^{25}
蒸 發 ラ テ ッ ク ス					
Kirchhof	1932	75	1.5190	25	1.5190
McPherson & Cummings	1935	21	1.5190	25	1.5190
平 均 値	—	—	—	—	1.5190
パ ラ ゴ ム					
Curtis & McPherson	1925	76	1.520	25	1.520
Kirchhof	1932	75	1.5220	20	1.5202
平 均 値	—	—	—	—	1.5201

ペールクレープ

Twiss	1923	77	1.525	15	1.521
Curtis & McPherson	1925	76	1.519	25	1.519
Shacklock	1932	78	1.5248	20.8	1.5233
Kirchhof	1932	75	1.5200	25	1.5200
McPherson & Cummings	1935	21	1.5187	25	1.5187
平 均 値	—	—	—	—	1.5205

スモークドシート

Macallum & Whitby	1924	27	1.5208	20	1.5190
Curtis & McPherson	1925	76	1.519	25	1.519
Tanaka	1927	79	1.5205	20	1.5187
Kirchhof	1932	75	1.5182	25	1.5182
McPherson & Cummings	1935	21	1.5188	25	1.5188
平 均 値	—	—	—	—	1.5188

精製ゴム

Macallum & Whitby	1924	27	1.5219 ^c	20	1.5201
Geiger	1925	32	1.5222	16	1.5191
Kirchhof	1932	75	1.5222 ^d	20	1.5204
	—	—	1.5225 ^e	20	1.5207
	—	—	1.5220 ^b	20	1.5202
McPherson	1932	1	1.5184 ^a	25	1.5184
Smith, Saylor & Wing	1933	80	1.525 ^d	11	1.520
McPherson & Cummings	1935	21	1.5190 ^a	25	1.5190*
平 均 値	—	—	—	—	1.5197

* 第1表に選定した値

c アセトン抽出後ベンゼンから沈澱精製せるもの

a McPherson⁽¹⁾法によつて精製したもの

d ソルゴム

b Pummerer 法によつて精製したもの

e ゲルゴム

2%の硫黄を含む加硫ゴムに對して McPherson 及び Cummings⁽²¹⁾が測定値より求めた等式を用ひて計算した値は 1.5624 である。此講説は最初豫報として National Bureau of Standards の *Tech. News Bull.*⁽⁷³⁾ に報告され、又 Kirchhof によつて *Kautschuk*⁽⁷⁴⁾に、或は *Rubber Chem. Tech.*⁽⁷⁴⁾ に譯文が掲載されてゐる。Kirchhof の論説⁽⁷⁴⁾中の値は McPherson 及び Cummings⁽²¹⁾ によつて報告されてゐる最後の値と僅か異つてゐる爲に或著者は誤つて Kirchhof 自身によつて行はれたものであるかの様に記してゐる。

硬質ゴムの信用の出来る屈折率は未だ見當らぬ様である、之は恐らく可視範圍の光線は其透過極めて小なるが爲ではないかと思はれる。Mayer⁽⁸⁾は廻折角の測定より組成の不明な或光線に對して 1.568 なる値を報告してゐる。Ayrton 及び Perry⁽²²⁾ は Jellett によつて行はれたと同様な測定から 1.611 なる値を報告した。Ayrton 及び Perry は 28.5° なる角を有する硬質ゴムプリズムを用ひて赤色光の屈折により屈折率 1.66 を發見した。

Kirchhof⁽⁷⁵⁾は各種の生ゴムの屈折率を種々の溫度に於て測定した。25°C に於ける溫度に對する屈折率の變化率は $300 \times 10^{-6} \sim 420 \times 10^{-6} \text{ deg.}^{-1}$ の範圍に位し八つの値の平均は $369 \times 10^{-6} \text{ deg.}^{-1}$ である。McPherson⁽¹⁾は精製ゴムに對する豫備實驗により $360 \times 10^{-6} \text{ deg.}^{-1}$ を與へたが更に McPherson 及び Cummings⁽²¹⁾は共同で此研究を續け精製ゴム或はゴムに硫黄 15% 以下を含む化合物も一様に $350 \times 10^{-6} \text{ deg.}^{-1}$ なる値を取

る事を示した。

2. 分散

先に述べた屈折率は硬質ゴムの場合を除いては光の波長約 $5893\text{\AA}$ (ナトリウム D-線) で測定された。分散は任意の二つの波長で測定された屈折率の差で表はされるのであるが McPherson 及び Cummings⁽²¹⁾ の測定以外には見當らぬ様である。氏等は波長 $6563\text{\AA}$ (水素 α -線、或はフラウンホーファーC-線) 及び $4861\text{\AA}$ (水素 β 、或はフラウンホーファーF-線) の2線を用ひ 0.0330 なる値を報告してゐる。長波長に於ける屈折率の値は恐らく赤外部に於ける吸収帯に接近してゐる爲或影響を受けてゐる。

3. 應力光學係數

他の多くの物質には極めて普通の事であるがゴムも應力を與へる事によつて複屈折の性質を示す。應力の作用してゐるゴム板を通して普通の投射で光を通す時は常光線及び異常光線と云ふ二つの平面偏光に分散される。屈折率によつて明らかである様に之等の光線の速度は各々異なる、従つて表はれる光線の間には位相の差がある。位相の差の大きさ、即ち一つの光線の他の光線に対する遅れはゴムの厚さ、應力(應力がゴム板の各斷面に正しく平均に與へられ従つて剪斷應力のない場合)等に比例する。此比例的恒數は物質の應力光學係數(stress-optical coefficient)として知られてゐる。而して不均一應力の更に一般の場合には遅れは厚さ及び同じ比例的の係數即ち應力光學係數⁽⁸¹⁾を持つた主應力との差に比例してゐる。言葉を變へて言へば應力光學係數と云ふのは單位應力によつて生ずる單位の厚さに對する位相的遅れに等しいのである。相對的遅れを $\text{\AA}$ 單位で、應力を bar ($1\text{bar}=10^6\text{ dynes. cm.}^{-2}=1.0197\text{ kg. cm.}^{-2}$) で、厚さを mm. で表はす時は應力光學係數は brewster と稱する單位で表はされる。brewster は $10^{-13}\text{ cm.}^2\text{.dyne}^{-1}$ である。

ポアッソン比の項で述べた様な軟質加硫ゴム配合物の應力光學係數は Thibodeau 及び McPherson⁽²³⁾ によつて測定されてゐる。7個の試験片より得たる平均値は 2,096 brewster である。又1個の試験片に就て極めて小さい範圍の應力を與へ 2,030 brewster なる値を得たと云ふ報告⁽⁸¹⁾がある。硬質ゴムに對しては 106 brewster なる値を得たと云ふ報告⁽²⁴⁾もあるが詳細なる記述はない。

VIII. 電 氣 的 恒 數

1. 透電恒數

透電恒數は電氣の點電荷(point charge)間の反撥の項で決定される。然し乍ら一般には物質が透電體として有する蓄電器の容量と空氣蓄電器或は之と同等容量のものとの比を以て測定される。透電恒數は數字的には比透電容量或は透過度(permittivity)と等しい。此處で取扱ふ凡ての値は毎秒 1,000 サイクルの振動數の下に測定したものである。

精製ゴムの透電恒數は 2.37 であると報告⁽²⁵⁾されてゐる。此値は 17 回測定の平均値であつてゴム樹の種屬の差異及び後の處理等も各々異なる 14 種の試験片に就て McPherson⁽¹⁾ によつて測定された値の平均値とよく一致してゐる。同様な測定を行つた二三の値も兩平均値中に包含される。

市販生ゴムの透電恒數はやゝ高く且試料毎に相當の差異がある。多くの場合 2.40~2.70 の間の値を取つてゐるがスモークドシート8個に就て測定した平均値は 2.45⁽⁵⁾ であると報告されてゐる。同じ著者⁽⁷⁶⁾による古い報告には製法及び處理の異なる 42 個の生ゴムに就ての平均は 2.46 である。同研究所の發表せる他の論文⁽⁸²⁾中の曲線から求めた値は之等の値とよく一致してゐる。

ゴム及び硫黄の化合物は純ゴム炭化水素と異り炭素-硫黄の結鎖に基く双極 (dipole) を含むものと考へられる。従つて加硫ゴムの電氣的性質は未加硫ゴムの場合に比し一層複雑であり、之等は一般に有極性化合物に相當してゐる。硫黄含有量の増加に従つて双極の數を増加し同時に双極の回轉の自由度は減少する。之等二つの係數は一般に電氣的性質の上に反對の效果を示してゐる。此兩係數は溫度、壓力及び用ひられた電氣振動數等の外的條件には左右されない。之等の性質は或中間の條件に於ては極大と極小とを有する。

精製ゴムに 2% の硫黄を加へたものは二つの實驗の平均値として 2.68 なる透電恒數を有する事が Scott, McPherson 及び Curtis⁽²⁵⁾によつて報告された。同氏等の古い研究⁽⁵⁾によれば未精製生ゴム配合物に對して 2.67 なる値を與へてゐる。未精製ゴムに對する壓力の影響に就て研究した論文⁽⁸²⁾の中からは 2.71 なる値が曲線から讀まれた。やゝ高い約 2.8 なる値が Kitchin⁽⁸³⁾の測定値から得られる。同研究所の Boggs 及び Blake⁽⁸⁴⁾の與へた曲線中からは約 3.0 なる値が讀まれる。

硫黄 32% を含んだ精製ゴム化合物に就て 8 回測定 of 平均値は 2.82 である。5 個の未精製ゴムに就て測定した古い研究⁽⁵⁾は 2.90 なる値を與へてゐるが之は Scott⁽⁸²⁾の測定せる曲線より得たものとよく一致してゐる。先に述べた Boggs 及び Blake⁽⁸⁴⁾の曲線は約 3.0 なる値を示した。

未加硫ゴムの透電恒數は 25°C に於て溫度變化により $-1 \times 10^{-3} \text{ deg.}^{-1}$ の割合で變化する事が發見された⁽²⁵⁾。2% の硫黄を含む化合物の場合には $-2.6 \times 10^{-3} \text{ deg.}^{-1}$ である。32% の硫黄を含む硬質ゴムでは其割合は $+0.6 \times 10^{-3} \text{ deg.}^{-1}$ であつて溫度の上昇により透電恒數を増加する。

2. 力 率

誘電體中に力の損失のない様な理想的な蓄電器に交番電壓を作用せしむる時に得られる電流は其電壓より 90° 先の位相を占める。實際の場合特に固體の誘電體の場合には EIF に等しい大きさの力の損失がある、茲に E 及び I は夫々電壓及び電流であつて F は今求めんとする力率である。力率は位相の差のなす角 ψ の sine で其量によつて位相が 90° から偏する。力率は物質に關して測定されるが誘電體の大きさには無關係である。

精製未加硫ゴムに就て 19 回測定した力率の平均値は 1.6×10^{-3} である。不純物、水分等の影響は力率を増加するが故にゴム炭化水素の眞の力率は 0.8×10^{-3} 以下である。又他の系統から測定した最低値の平均は 1.5×10^{-3} である。未精製ゴムの力率は更に廣い範圍に互つてゐる。或場合⁽⁷⁶⁾の 34 回測定 of 平均値及び他⁽⁵⁾の 8 回測定 of 平均値は兩者共 1.8×10^{-3} である。

精製ゴムに 2% の硫黄を配合した加硫ゴムの力率⁽²⁵⁾は 3 回測定 of 平均が 1.8×10^{-3} である。未精製ゴムと硫黄との化合物の値は 2 回測定⁽⁵⁾ of 平均値が 3.1×10^{-3} である。

精製ゴムより作られた硬質ゴムの力率は 10 回の測定⁽²⁵⁾から 5.1×10^{-3} を得たが未精製ゴムに就ての 5 回の測定値⁽⁵⁾は 8.8×10^{-3} である。

ゴムの力率は溫度の變化に伴つて大きな變化があり極大、極小を表はす。然し乍ら未加硫ゴム及び茲に假定してゐる 2 種の加硫ゴムは 25°C に於ける溫度に對する力率の變化率が他の條件の場合に比し差程大きくはない。其大きさに關する満足な結果は今迄の研究からは得られない様に思はれる。

3 傳 導 度

物質の容積傳導度 (volume conductivity) は單位の厚さと單位の斷面積とを有する試料の反對面との間に物質を通して行はれる傳導係數を以て決定される。抵抗の逆數なる傳導係數はオームの逆數或は mho で測られる。若し物質の大きさが cm. で測定されるならば傳導度の單位は mho/cm. である。

ゴムの傳導度は他の絶縁材料と同様に電壓をかけて測定する迄の間に経過する時間によつて著しく異なる。今此處で討論する値は凡て電壓を與へて1分後に測定したものである。

ゴムの傳導度は試料毎に著しく異り、不純物によつて著しく増加される。標準溫度に於けるゴムの傳導度は全く非炭化水素成分に期するものとなす事が出来る。

精製生ゴムに就て16回其傳導度を測定⁽²⁵⁾した結果 23×10^{-18} mho. cm.⁻¹ の平均値を得た。異つたゴム樹より得た精製生ゴムに就て測定した他の研究⁽¹⁾結果は13回の平均値として 22×10^{-18} mho. cm.⁻¹ を與へて居るが之の中には今述べた値と全く同じものもある。最低値は 14×10^{-18} mho. cm.⁻¹ である。未精製生ゴムに就て行つた8回の平均値⁽⁵⁾は約 570×10^{-18} mho. cm.⁻¹ である。

2%の硫黄を含む精製加硫ゴムに就ての3回の測定⁽²⁵⁾は平均値として 13×10^{-18} mho. cm.⁻¹ を傳導度として與へてゐる。未精製生ゴムより作つた2種の試料は 300×10^{-18} mho. cm.⁻¹ の傳導度を有する事が發見された⁽⁵⁾。

精製ゴムに32%の硫黄を配合して作つた硬質ゴムは9回の測定値より 15×10^{-18} mho. cm.⁻¹ の傳導度を有する事が明らかになつた⁽²⁵⁾、ゴムを精製しない場合には 47×10^{-18} mho. cm.⁻¹ が5回の測定⁽⁵⁾の平均値として與へられた。

25°C に於ける傳導度の溫度係數には有效な値が與へられてゐない。之は此溫度附近に於ける係數の變化が極めて速かなる爲である。

IX. 各恒數間の關係

以上論じて來た諸恒數の或ものの間には確かな理論的な關係が成立する。之等の關係の一つは膨脹率、密度及溫度に對する密度の變化率等の間の相互關係で既に等式(2)で與へられた通りである。

1. 溫度に對する膨脹率及び屈折率の變化

他の一つの關係には溫度に對する屈折率の變化率がある。Eykmann⁽⁸⁶⁾の研究は最近の結果⁽⁸⁶⁾によつて一層支持されたのであるが少くとも單一の炭化水素に對しては次の様な關係のある事を示した。即ち溫度及び壓力の變化が原因となつて屈折率 n 及び密度 ρ が變化する場合には恒數 R を含む次の等式は得られる値の全範圍に互つて殆んど實驗的誤差の限界内で成立する。

$$\frac{n^2 - 1}{n + 0.4} = R\rho \dots \dots \dots (3)$$

之の式を溫度 T に就て微分し、 R を消去する時は次の式が誘導される。

$$\frac{dn}{dT} = - \frac{1}{\frac{2n}{n^2 - 1} - \frac{1}{n + 0.4}} \left(\frac{1}{V} \frac{dV}{dT} \right) \dots \dots \dots (4)$$

(4) 式の右邊に第1表に示した膨脹率及び屈折率の値を挿入する時は精製ゴムの場合には -367×10^{-6} deg.⁻¹ が與へられるが之は直接測定で得た値 -350×10^{-6} deg.⁻¹ と近似である。硫黄2%を含む試料の場合には夫々 -372×10^{-6} 及び -350×10^{-6} deg.⁻¹ である。

2. 屈折率及び透電恒數

光の電磁説から屈折率 n 及び磁氣を減じない媒體の透電恒數 ϵ との間には次の關係が得られる。

$$n^2 = \epsilon \dots \dots \dots (5)$$

茲に n 及び ϵ は同一振動數で測定したものである。光の振動數は 10^{14} sec.⁻¹ の桁であるに反し此處で ϵ を

測定した周波数は 10^3sec.^{-1} なるが故に嚴格に云へば (5) の式は用ひられない、然し乍ら無理に適用して見ると精製ゴムの場合には D-線で測定した n^2 の値は 2.307 であり、又其透電恒數は第 1 表に示した様に 2.37 である。2% の硫黄を含んでゐる場合には夫々 2.330 及び 2.68 である、又硬質ゴムに就ての値は夫々 2.6 及び 2.82 である。

(5) の式を溫度に就て微分して見ると、

$$\frac{2ndn}{dT} = \frac{d\epsilon}{dT} \dots\dots\dots (6)$$

精製ゴムに就ては第 1 表から左邊の値として $-1.06 \times 10^{-3} \text{deg.}^{-1}$ が得られるが溫度に對する ϵ の變化率を直接測定した値は $-1 \times 10^{-3} \text{deg.}^{-1}$ で前記の値と近似してゐる。軟質加硫ゴムに對する之等の値は夫々 $-1.06 \times 10^{-3} \text{deg.}^{-1}$ 及び $-2.6 \times 10^{-3} \text{deg.}^{-1}$ である。

軟質加硫ゴムに就て (5) 及び (6) 式を以て測定した値の相違は既に述べた處の双極子能率を以て衆合してゐることによるものと考へられる。

注意——此論文を完成した後に此綜説中に加へるべき二三の數値の落ちてゐるのに氣が附いた。Kemp⁽⁸⁷⁾ はゾルゴム炭化水素に就て 20°C にて密度を測定した結果 $0.905 \sim 0.910 \text{ g.cm.}^{-3}$ なる値を與へ、此最高値は最も信用の置けるものなることを報告してゐる。此値は 25°C に於ける 0.907 g.cm.^{-3} なる密度に相當してゐる。 20°C に於けるゾルゴムの屈折率は $1.5214 \sim 1.5217$ の範圍である。此範圍は 25°C では $1.5196 \sim 1.5199$ となる。32% の硫黄を含む硬質ゴムに對しては 25°C に於て 1.163 g.cm.^{-3} なる密度が Kemp 及び Malm⁽⁸⁸⁾ によつて報告されてゐる。

Taylor, Herrmann 及び Kemp⁽⁹⁾ は種々の物質に就て水分擴散恒數を測定した。氏等は此値を單位蒸氣壓に就て單位斷面積を通して斷面と直角の方向に擴散によつて通過する水の割合を以て表はしてゐる。或種の軟質加硫ゴムに就ては茲に論じた他のものと異り $6.62 \times 10^{-8} \sim 7.90 \times 10^{-8} \text{ g.hr.}^{-1} \text{ cm.}^{-1} (\text{mmHg.})^{-1}$ の範圍である。32% の硫黄を含む硬質ゴムに就ては $1.51 \times 10^{-8} \text{ g. hr.}^{-1} \text{ cm.}^{-1} (\text{mmHg.})^{-1}$ なる値が知られてゐる。

X. 綜 括 及 び 結 論

機械、熱、光及び電氣の分野に於てゴムの基礎的な 16 の物理的恒數に就て精密なる調査を行つた。各恒數の値は最も信用出来ると思はれるものを示し、更に必要に應じて 1 atm 及び 25°C の標準狀態に換算補正を行つた。各數値は精製ゴム、市販生ゴム、2% の化合硫黄を含む軟質加硫ゴム及び 32% の硫黄を含む硬質ゴムの 4 種類に就て與へた。

此調査はゴムの基礎的性質に關する現在の知識中に大きな缺陷のある事を示した。或場合には多數の測定が行はれてゐるにも拘らず其値が今日の科學的及び工業的仕事の要求に對し十分なる精密度がないために恒數値の得られなかつたものもある。故に此論文は種々の恒數に就て選擇した値の綜括ばかりでなく、又將來の研究の計劃に對する基礎としても役立つものである。

引 用 文 獻

(1) McPherson: <i>Bur. Standards J. Res.</i> , 8 , 751 (1932); <i>Rubber Chem. Tech.</i> , 5 , 523 (1932)	<i>Rubber Chem. Tech.</i> , 10 , 242 (1937)
(2) Lotmar & Meyer: <i>Monatsh.</i> , 69 , 115 (1936);	(3) Barnes: <i>Can. J. Res.</i> , 15 , 156 (1937); <i>Rubber Chem. Tech.</i> , 10 , 462 (1937)

- (4) Clark, Wolthuis & Smith: *J. Res. Natl. Bur. Standards*, **19**, 479 (1937); *Rubber Age* (N. Y.), **42**, 35, 113 (1937); *Rubber Chem. Tech.*, **11**, 32 (1938)
- (5) Curtis, McPherson & Scott: *U. S. Bur. Standards Scientific Papers*, **22**, 383 (1927)
- (6) Scott: *J. Res. Natl. Bur. Standards*, **14**, 99 (1935); *Rubber Chem. Tech.*, **8**, 401 (1935)
- (7) Bekkedahl: *J. Res. Natl. Bur. Standards*, **13**, 411 (1934); *Rubber Chem. Tech.*, **8**, 5 (1935)
- (8) Mayer: *Am. J. Sci.*, **41**, 54 (1891)
- (9) Griffiths & Kaye: *Proc. Roy. Soc. London*, **A104**, 71 (1923)
- (10) Am. Soc. Testing Materials: *Proc. Am. Soc. Testing Materials*, **30 I**, 1224 (1930)
- (11) Van Dusen: "International Critical Tables", **V**, 217, New York, 1929
- (12) Williams: *Ind. Eng. Chem.*, **15**, 154 (1923)
- (13) Barnett: *Ind. Eng. Chem.*, **26**, 303 (1934)
- (14) Bekkedahl & Matheson: *J. Res. Natl. Bur. Standards*, **15**, 503 (1935); *Rubber Chem. Tech.*, **9**, 264 (1936)
- (15) McPherson & Bekkedahl: *J. Res. Natl. Bur. Standards*, **14**, 601 (1935); *Rubber Chem. Tech.*, **8**, 456 (1935)
- (16) Jessup & Cummings: *J. Res. Natl. Bur. Standards*, **13**, 357 (1934); *Rubber Chem. Tech.*, **8**, 44 (1934)
- (17) Holt & McPherson: *J. Res. Natl. Bur. Standards*, **17**, 657 (1936); *Rubber Chem. Tech.*, **10**, 412 (1937)
- (18) Adams & Heaps: *Phil. Mag.*, **24**, 507 (1912)
- (19) Exner: *Sitzber. Akad. Wiss. Wien*, **69 II**, 102 (1874)
- (20) Irons: *J. Sci. Instruments*, **7**, 323 (1930)
- (21) McPherson & Cummings: *J. Res. Natl. Bur. Standards*, **14**, 553 (1935); *Rubber Chem. Tech.*, **8**, 421 (1935)
- (22) Ayrton & Perry: *Phil. Mag.*, **12**, 196 (1881)
- (23) Thibodeau & McPherson: *J. Res. Natl. Bur. Standards*, **13**, 887 (1934); *Rubber Chem. Tech.*, **8**, 183 (1935)
- (24) Carleton: *Rev. Sci. Instruments*, **5**, 30 (1934)
- (25) Scott, McPherson & Curtis: *Bur. Standards J. Res.*, **11**, 173 (1933); *Rubber Chem. Tech.*, **7**, 342 (1934)
- (26) Weber: "Chemistry of India Rubber", Philadelphia, 1903, p. 13
- (27) Macallum & Whitby: *Trans. Roy. Soc. Can.*, **18 III**, 191 (1924)
- (28) Bondy, quoted by Staudinger: *Ber.*, **63**, 921 (1930); *Rubber Chem. Tech.*, **3**, 401 (1930)
- (29) Bunschoten: *Med. deel. Rijksvoorlichtingsdienst Behoeve Rubberhandel Rubbernijverheid, Delft*, **1921** (3), p. 37
- (30) Kirchhof & Matulke: *Ber.*, **57B**, 1266 (1924)
- (31) van Rossem, quoted by Pickles: *India-Rubber J.* **67**, 17 (1924)
- (32) Geiger, quoted by Staudinger: *Kautschuk*, **1**, 8 (1925)
- (33) Feuchter: *Kautschuk*, **2**, 260 (1926)
- (34) Feuchter & Hauser: *Kautschuk*, **5**, 194 (1929)
- (35) van Rossem & Lotichius: *Kautschuk*, **5**, 2 (1929); *Rubber Chem. Tech.*, **2**, 378 (1929)
- (36) Kimura & Namikawa: *J. Soc. Chem. Ind. Japan*, **32**, 654, 196B (1929)
- (37) Whitby in "Chemistry and Technology of Rubber" (Davis and Blake, Ed.), New York, 1937, p. 105
- (38) Whitby, quoted by Barnes: *Can. J. Res.*, **15**, 156 (1937); *Rubber Chem. Tech.*, **10**, 462 (1937)
- (39) Church & Daynes, quoted by Dawson & Porritt: "Rubber, Physical and Chemical Properties", Croydon, 1935, p. 498
- (40) Russner: *Repertorium exp. Physik.*, **18**, 152 (1882)
- (41) Lebedev: *J. Russ. Phys.-Chem. Soc.*, **13**, 246 (1881)
- (42) Lundal: *Ann. Physik.*, **66**, 741 (1898)
- (43) Dawson & Parris, quoted by Dawson & Porritt: "Rubber, Physical and Chemical Properties", Croydon, 1935, p. 389
- (44) Kohlrausch: *Ann. Physik.*, **29**, 577 (1873)
- (45) Dorsey: *Phys. Rev.*, **27**, 1 (1908)
- (46) Souder & Hidnert: *U. S. Bur. Standards Scientific Papers*, **15**, 387 (1919)

- (47) Blake: *Ind. Eng. Chem.*, **22**, 737 (1930); *Rubber Chem. Tech.*, **3**, 631 (1930)
- (48) Eucken: *Ann. Physik*, **34**, 185 (1911)
- (49) Lees: *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, **A183**, 481 (1892)
- (50) Herschel, Lebour & Dunn: *Brit. Assoc. Advancement Sci. Rept.*, **49**, 58 (1879)
- (51) Van Dusen: *Am. Soc. Refrigerating Engrs. J.*, **7**, 202 (1920)
- (52) Weh: *Gen. Elec. Rev.*, **40**, 138 (1937)
- (53) Lees: *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, **A191**, 399 (1898)
- (54) Dina: *Rend. ist. Lombardo sci.*, **32**, 205 (1899); *Nuovo Cimento*, **9**, 461 (1899)
- (55) Niven & Geddes: *Proc. Roy. Soc. London* **A87**, 535 (1912)
- (56) Barratt: *Proc. Phys. Soc. London*, **27**, 81 (1915)
- (57) Giacomini: *Verhandl. deut. physik. Ges.*, **20**, 94 (1918)
- (58) Taylor: *Phys. Rev.*, **13**, 150 (1919); *Trans. Am. Soc. Mech. Engrs.*, **41**, 605 (1919)
- (59) Vernotte: *Compt. Rend.*, **194**, 1462 (1932)
- (60) Stephens: *Phil. Mag.*, **15**, 857 (1933)
- (61) Joule: *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, **A149**, 91 (1859)
- (62) Parks: *J. Chem. Phys.*, **4**, 459 (1936); *Rubber Chem. Tech.*, **10**, 135 (1937)
- (63) Weber: "Chemistry of India Rubber", Philadelphia, 1903, p. 107
- (64) Schläpfer, quoted by Staudinger: *Kautschuk*, **1**, 8 (1925)
- (65) Messenger: *Trans. Inst. Rubber Ind.*, **5**, 71 (1929); *Rubber Chem. Tech.*, **3**, 24 (1930)
- (66) Hada, Fukaya & Nakajima: *J. Rubber Soc. Japan*, **2**, 389 (1931); *Rubber Chem. Tech.*, **4**, 507 (1931)
- (67) Endoh: *J. Soc. Chem. Ind. Japan*, **35**, 4B (1932)
- (68) Awbery: "International Critical Tables" New York, 1929, **V**, 113
- (69) Leduc: "International Critical Tables", New York, 1929, **V**, 80, 82 & 83
- (70) Adams & Gibson: *J. Wash. Acad. Sci.*, **20**, 213 (1930); *Rubber Chem. Tech.*, **3**, 555 (1930)
- (71) "Landolt-Börnstein physikalische-chemische Tabellen" 5th Ed., **2**, 1630 (1923)
- (72) Campanile: *Rend. Accad. Sci. Napoli*, **33**, 63 (1894); *Nuovo Cimento*, **1**, 259 (1895)
- (73) McPherson & Cummings: *Tech. News Bull.*, No. 194, 66 (1933)
- (74) Kirchhof: *Kautschuk*, **9**, 172 (1933); *Rubber Chem. Tech.*, **7**, 608 (1934)
- (75) Kirchhof: *Kautschuk*, **8**, 137 (1932); *Rubber Chem. Tech.*, **6**, 92 (1933)
- (76) Curtis & McPherson: *Bur. Standards Tech. Papers*, **19**, 669 (1925)
- (77) Twiss: *India-Rubber J.*, **65**, 609 (1923); *Inst. Rubber Inst. Year Book* 1923, p. 295; *Nature*, **113**, 822 (1924)
- (78) Shacklock: *Trans. Inst. Rubber Ind.*, **7**, 354 (1932)
- (79) Tanaka: *Trans. Inst. Rubber Ind.*, **2**, 330 (1927)
- (80) Smith, Saylor & Wing: *Bur. Standards J. Res.*, **10**, 479 (1933); *Rubber Chem. Tech.*, **6**, 351 (1933)
- (81) Thibodeau & Wood: *J. Res. Natl. Bur. Standards*, **20**, 393 (1938)
- (82) Scott: *J. Res. Natl. Bur. Standards*, **15**, 13 (1935); *Rubber Chem. Tech.*, **9**, 449 (1936)
- (83) Kitchen: *Ind. Eng. Chem.*, **24**, 549 (1932); *Rubber Chem. Tech.*, **5**, 367 (1932)
- (84) Boggs & Blake: *Ind. Eng. Chem.*, **22**, 748 (1930); *Rubber Chem. Tech.*, **3**, 659 (1930)
- (85) Eykman: *Rec. Trav. Chim.*, **12**, 157, 268 (1893); **13**, 12 (1894); **14**, 177 (1895); *Recherches Refractometriques*, Naturkundige Verhandlungen, Hollandsche Maatschappij Wetenschappen, Ed. by A. F. Holleman, printed in French; Haarlem: De Erven Loosjes, 1919
- (86) Kurtz & Ward: *J. Franklin Inst.*, **222**, 563 (1936); **224**, 583, 697 (1937)
- (87) Kemp: *Ind. Eng. Chem.*, **30**, 157 (1938)
- (88) Kemp & Malm: *Ind. Eng. Chem.*, **27**, 141 (1935)
- (89) Taylor, Herrmann & Kemp: *Ind. Eng. Chem.*, **28**, 1255 (1936)