(2000年4月25日受付・2000年9月18日受理)

温度勾配条件下の布の透湿

元東京家政大学 金網久明^{*1} 竹中知子^{*2}

A Moisture Permeability through a Fabric Under Temperature Gradient Conditions

Hisaaki Kanetsuna^{*1} and Tomoko Takenaka^{*2}

^{*1} 2-10-20 Morigaoka, Isogo-ku, Yokohama, 235-0024, Japan

^{*2} SAZABY Inc, 3-1 Chiwaka-cho, Kanagawa-ku, Yokohama, 221-0036, Japan

Abstract: A moisture permeability through ten-layered fabrics under temperature gradient conditions was compared with a moisture permeability under an isothermal condition. In the case of the temperature gradient condition, a temperature of vessel cup of the evaporation technique was held at 32°C and the experiments were performed at various environmental humidity in a temperature below 32°C. In the case of an isothermal condition, the temperature of the vessel cup and an environmental temperature were the same temperature. A moisture permeability, a humidity on the inside surface and the outside surface of ten-layered fabrics and a diffusion coefficient of a moisture vapour in fabrics were compared with the temperature gradient and the isothermal conditions.

(Received 25 April, 2000; Accepted 18 September, 2000)

1. 結 言

環境条件に適応した衣服を着用している場合(30°C以上の高温環境を除く)、身体軀幹部衣服最内層の温湿度は $32\pm1^\circ\text{C}$ 、 $50\pm10\%\text{RH}$ にほぼ恒定していることが知られている[1]。従って、被験者実験において、衣服を通して、これより温度の低い環境温湿度中に不感蒸泄による水蒸気の移動が起こっているといつてよい。しかし、透湿現象やその機構の研究の殆どは温度一定の条件下で行われている。温度勾配のある条件下の透湿については、透湿カップ内を 36°C に保ち、このカップに穴開きプラスチックプレートあるいは透湿防水布などを取りつけた場合について、その表面から $20\pm1^\circ\text{C}$ $60\pm3\%\text{RH}$ の環境の上方に向けての水蒸気の拡散を測定をした坪内[2]の研究例があるのみである。

著者らは、セルロース繊維織物[3]、ウールニット布[4]、衣料用革[5]の透湿機構を温度一定の条件下で詳細に研究し、透湿は試料中の微細な間隙の水蒸気の試料両表面の水蒸気濃度差に基づく拡散によって起こることを示し、さらにその拡散係数を求め、これに影響を及ぼす試料の構造因子などについて考察してきた。

本研究では、前報と同じ研究手法を用い、透湿カップ内の温度を 32°C とし、これより低い温度の環境温湿度中で、布を通しての水分移動現象について検討し、温度一定の条件下の場合と比較した。

2. 供試料

実験に用いた試料は、たて糸にほとんど撚りがなく、糸間隙の孔の認められない表1に示した絹の朱子織布で

Table 1 Details of Two-skip Five-head Silk Satin Fabric Sample

Mass per unit area (g/m ²)	Thickness (mm)	Yarn number content (Tex)	Twist number per 50cm	Density (number /2.54cm)	Crimp percentage (%)	Apparent density (g/cm ³)	Packing factor (%)	Por volume (%)
168.5	0.387	Warp 3.1 Weft 15.7	Warp - Weft Z 266.7 S 269.3	Warp 285.1 Weft 76.2	Warp 11.5 Weft 4.9	0.463	32.8	67.2

ある。

3. 実験方法

3.1. 透湿性

3.1.1. 用いた透湿カップ

緒言に述べたように、この研究では前報[3, 4, 5]と同様に温度一定の条件(以後等温条件と呼ぶ)下での透湿の実験のほか、透湿カップの温度を環境温度より高い32℃に保った実験を行う。等温条件下の実験では前報と同様に JIS-L-1099-1986 A-2 法ウォーター法の寸法のアルミニウム製の透湿カップ((株)ナガノ科学製作所製)を用いた。透湿カップの温度を32℃に保った実験では、あとから述べるように透湿カップに塩化カリウム飽和水溶液を入れて実験をする。この実験によるカップの腐食を防ぐため、前報に用いた透湿カップと同一の寸法のステンレス鋼製の透湿カップを作製して実験に用いた。

3.1.2. 等温条件下の透湿量・透湿度の求め方

あとから述べる各温湿度条件に設定した人工気候室内で実験を行った。既に報告[7]しているように、人工気候室の温湿度調整の精度は、記録計上の記録からは、温度変化は殆ど認められず、湿度は±0.5%RH程度であった。このような人工気候室の各温湿度条件下で10枚重ね布について、アルミニウム製の透湿カップを用い、カップ内を水にして、前報[3]と同様に透湿実験を行った。この場合、透湿カップの温度は環境温度と等しい。同じ試料2試験体の時間経過による質量減少量を同時に自動計測し、再現性を確かめながら実験を進め2データーの平均値を求めた。

3.1.3. 温度勾配条件下の透湿量・透湿度の求め方

ドライサーモユニットTAH-1G((株)タイテック製)を用い、アルミブロックに3.1.1.で述べたステンレス鋼製透湿カップがよく嵌合し、かつ出し入れできるようにあけた穴にカップを入れ、その中の塩化カリウム飽和水溶液を32℃に保つようにした。温度センサーは安立計器(株)製B1・6-E-J1・M1-50を用いた。塩化カリウム飽和水溶液をカップ上端から1cm下まで入れた[7]。カップ内

の温度を前述の温度センサーで確認したのち、アルミブロックの穴から取り出した透湿カップに10枚重ね布を前報[3, 4, 5]と同様にすばやくセットし、再びドライサーモユニットのアルミブロックにセットした。30分ごとにアルミブロックから透湿カップを取り出し電子天秤で秤量し、時間と透湿量の関係を求めた。透湿カップとドライサーモユニットを合わせた質量が自動計測できる質量をはるかに超えたため、このような方法をとった。

2つのドライサーモユニットを3.4.に述べる各温湿度条件下に調整した人工気候室の無風に近い同じ場所に置き、同じ試料2試験体について平行して測定し、再現性を確かめながら実験を進めた。定常状態の透湿が起こっていると考えられる時間—質量変化の直線部分の傾斜から透湿度P(g/mh)を求めた。

透湿カップ内を32℃に保ち、これより低い環境温湿度条件の中で実験をする場合は、カップ内の試料面で結露が起これないようにする必要がある。この問題に対処するため、カップに塩類飽和水溶液を入れ、水を入れた場合よりカップ内の湿度を下げることにした。硫酸カリウム、塩化カリウム、酢酸マグネシウム、硝酸マグネシウムの各飽和水溶液を用いて、必要な予備実験を行い、水、各塩類飽和水溶液いずれを用いても、後述する拡散係数D_cの値には殆ど影響のないことを確認した。塩類の種類によっては、時間経過により飽和水溶液表面に微結晶皮膜が析出した。このようなことも考慮し、上述の塩化カリウム飽和水溶液を選んだ[6]。

3.2. 透湿カップに取り付けた布の水(水溶液)面側表面の温湿度の測定方法

3.1.2, 3.1.3の透湿実験について、定常状態の透湿が起こっていると考えられる時間帯について、前報[3]と同様にして、透湿カップに取り付けた10枚重ね布の水(水溶液)面側表面の温湿度を測定した。

3.3. 透湿カップに取り付けた布の上表面の空気層の温度測定方法

10枚重ね布の3.1.2, 3.1.3の透湿実験について、定常状態の透湿が起こっていると考えられる時間帯において、前報[3]と同様に温湿度センサーを読み取り顕微鏡に取

り付け、前報[3]と同様の方法、操作及び手順で 10 枚重ね布の上表面 0mm における空気層の温湿度を測定した。

3. 4. 透湿の実験を行う環境温湿度条件

3. 4. 1. 絶対湿度を同一にして温度を変えた環境温湿度条件

透湿は布両面の水蒸気濃度差による水蒸気の拡散現象であり、透湿カップを用いた等温条件下の実験において、すなわち、透湿カップの温度が環境温度と等しい場合、環境の温度が高い方が透湿度が大きくなる。その要因は、温度が高くなるのに伴ってカップ内の水蒸気濃度が大きくなり、布両面の水蒸気濃度差が大きくなることによるものであって、静止空気中での水蒸気の拡散係数の温度変化による影響は少ないことが著者ら[7]の実験により推定されている。よって、環境温湿度の透湿への影響を効率よく調べるため、20℃50%RH(絶対湿度 $8.689 \times 10^{-6} \text{g/cm}^3$)を基準として、温度を 15, 20, 30℃とし、20℃50%RHの絶対湿度と等しくなるように大西熱学湿り空気表により計算し、20℃50%RHのほか15℃68.5%RH、30℃27.6%RHを環境温湿度条件として選んだ。

3. 4. 2. 温度を同一にして相対湿度を変えた環境温湿度条件

20℃50%RHを基準にして、このほか同じ20℃で35%RH(絶対湿度 $6.08 \times 10^{-6} \text{g/cm}^3$)及び65%RH(絶対湿度 $11.28 \times 10^{-6} \text{g/cm}^3$)を環境温湿度条件として選んだ。

3. 4. 1. 及び 3. 4. 2. の環境温湿度条件で等温条件下での透湿実験及び透湿カップ内を 32℃に保持した温度勾配条件下での透湿実験を行った。

4. 結果

4. 1 等温条件下の透湿

等温条件下で絶対湿度を同一にして温度を変えた環

境条件下及び温度を同一にして相対湿度を変えた環境条件下で 10 枚重ね布の透湿実験を行った。

すなわち、3. 4. 1. に述べたそれぞれの環境温湿度条件に設定した人工気候室及び 3. 4. 2. に述べたそれぞれの環境温湿度条件に設定した人工気候室中で、それぞれ 3. 1. 2. に述べた方法により 10 枚重ね布の透湿実験を行った。いずれの場合も、行った透湿実験において前報[3, 4]と同様に実験開始一定時間以降、定常状態の透湿が起こっていると考えられる時間—透湿量変化に直線関係が得られた。その傾斜から 3. 1. 2. に述べたように透湿度 P を求め、2 データの平均値を算出し、表 2 にその値を示した。等温条件下の実験により得られた透湿度 P には A の添え字をつけ P_A とした。以後本報告ではこのように表している。

次に、それぞれ 3. 2. 及び 3. 3. に述べた実験方法に従い、定常状態の透湿が起こっていると考えられる時間帯について、透湿カップに取り付けた 10 枚重ね布の水面側表面空気層及び上側表面 0mm の空気層の相対湿度を測定した。その結果及びこれを絶対湿度に換算した結果を同じく表 2 に示した。等温条件下の実験により得られた前者及び後者の絶対湿度は C_1 及び C_2 にそれぞれ A の添え字をつけ C_{1A} , C_{2A} で表した。以後、本報告ではこのように表している。また、布層両表面の水蒸気濃度差 $C_{1A} - C_{2A}$ の値も同じく表 2 に示した。

4. 2 温度勾配条件下の透湿

透湿カップ内を 32℃に保った温度勾配条件下で、絶対湿度を同一にして温度を変えた環境条件下及び温度を同一にして相対湿度を変えた環境条件下で 10 枚重ね布の透湿実験を行った。

すなわち、3. 4. 1. に述べたそれぞれの環境温湿度条件に設定した人工気候室及び 3. 4. 2. に述べたそれぞれの環境温湿度条件に設定した人工気候室内で 3. 1. 3. に述べた

Table 2 Various Experimental Data on Moisture Transmission through Ten-layered Fabrics under Isothermal Condition. Water was Placed in Vessel Cup. (A)

Environmental temperature and humidity	Moisture permeability	Humidity on the inside surface of ten-layered fabrics		Humidity on the outside surface of ten-layered fabrics			
	(P_A) $\text{g/m}^2\text{h}$	(%)RH	(C_{1A}) 10^{-6}g/cm^3	(%)RH	(C_{2A}) 10^{-6}g/cm^3	$(C_{1A} - C_{2A})$ 10^{-6}g/cm^3	
15℃68.5%RH	14.0	93.5	12.69	72.5	9.31	3.38	
20℃50.0%RH	34.6	91.8	15.94	61.8	10.74	5.20	
30℃27.6%RH	93.0	75.0	22.85	33.4	10.18	12.67	
20℃35.0%RH	40.8	89.3	15.51	52.6	9.12	6.39	
20℃50.0%RH	34.6	91.8	15.94	61.8	10.74	5.20	
20℃65.0%RH	22.6	89.3	15.51	72.5	12.58	2.93	

Table 3 Various Experimental Data on Moisture Transmission through Ten-layered Fabrics under Temperature Gradient Condition (Temperature in Vessel Cup was 32°C). Saturated Potassium Chloride Aqueous Solution was placed in Vessel Cup. (B)

Environmental temperature and humidity	Moisture permeability (P_h) g/m ² h	Temperature and humidity on the inside surface of ten-layered fabrics			Temperature and humidity on the outside surface of ten-layered fabrics		
		(C _{1B})		10 ⁻⁶ g/cm ²	(C _{2B})		(C _{1B} -C _{2B}) 10 ⁻⁶ g/cm ²
		°C	(%)RH		°C	(%)RH	
15°C68.5%RH	76.7	25.5	97.4	23.17	19.6	87.3	8.34
20°C50.0%RH	85.7	28.4	85.1	23.79	23.3	68.6	9.37
30°C27.6%RH	83.2	32.0	67.6	22.95	30.4	42.3	9.77
20°C35.0%RH	89.6	27.6	83.6	22.38	23.2	66.5	8.49
20°C50.0%RH	85.7	28.4	85.1	23.79	23.3	68.6	9.36
20°C65.0%RH	70.2	27.8	89.0	24.05	22.5	73.3	9.70

方法により温度勾配条件下の透湿実験を行った。行った透湿実験において、この場合も実験開始一定時間以降に定常状態の透湿が起こっていると考えられる時間—透湿量変化に直線関係が得られた。その傾斜から 3.1.3. に述べたように透湿度 P を求め、2 データーの平均値を算出し、表 3 にその結果を示した。温度勾配条件下の実験により得られた透湿度 P には B の添え字をつけ P_B とした。以後、本報告ではこのように表している。

次に、3.2. 及び 3.3. に述べた実験方法に従い、定常状態の透湿が起こっていると考えられる時間帯について求めた、透湿カップに取り付けた 10 枚重ね布の水溶液面側表面空気層及び上側表面上 0mm の空気層の温度及び相対湿度の測定結果、さらに、これをもとに計算した絶対湿度の値を同じく表 3 に示した。温度勾配条件下の実験により得られた前者及び後者の絶対湿度は C_1 及び C_2 にそれぞれ B の添え字をつけ C_{1B} 及び C_{2B} で表した。以後本報告ではこのように表している。また、布層両表面の水蒸気濃度差 $C_{1B} - C_{2B}$ の値も同じく表 3 に示した。

表からわかる通り、布面で最も結露の起こり易いと考えられる環境温湿度 15°C、68.5%RH の場合でも、水溶液面側表面空気層の温湿度が 25.5°C、97.4%RH、上側表面上 0mm の空気層の温湿度が 19.6°C、87.3%RH であることから布両表面で結露は起こっていないものと推定される。

5. 考察

前報[3.4]において糸間隙の孔の認められない織(編)布の等温条件下の透湿は、定常状態において、布中の糸あるいは繊維間の微細な間隙の水蒸気の拡散と考えて実際上さしつかえなく、その拡散係数 D_e で透湿性を表せ

ることを示した。

$$D_e = \frac{P \cdot l}{(C_1 - C_2) \cdot \alpha} \quad (1)$$

ここで P は透湿度、 l は厚さ、 C_1 及び C_2 は布層両表面の水蒸気濃度 ($C_1 > C_2$)。 α は糸あるいは繊維間の微細な間隙の布面に平行な面における透湿面積に対する面積比率。繊維は径に比して著しく長いものであるから、 α は試料面の面積比率であるが、これが一定のある厚さの体積を考慮することができ、このようなとき、 α を空隙率とおける[3,4]。この実験に用いた布は表 1 に示したような朱子絹織物であり、糸間隙の孔は認められず、上述のことはほぼ満たされていると考えられる。

5.1. 等温条件下の透湿

等温条件下の透湿で絶対湿度が同一で温度を変化させた環境条件下の実験を行った場合の D_e を表 1, 2 の測定結果をもとに計算した。結果を D_{eA} で表し、各値の大小を示す記号とともに表 4 に示した。表の D_{eA} は環境温度の上昇とともに増加している。 D_{eA} に温度効果があらわれたものと思われる。静止空気中の水蒸気の拡散係数に少ない温度効果のあることは周知のことである[8]。

一方、(1)式は(2)式のように変形される。

$$P = D_e (C_1 - C_2) \frac{\alpha}{l} \quad (2)$$

表 2 に示す通り、環境温度の上昇とともに ($C_{1B} - C_{2B}$) が増大し、透湿度 P_A が著しく大きくなっていることが理解で

Table 4 Diffusion Coefficient of Moisture Vapour in Fabrics (D_e)

Environmental temperature and humidity	Under isothermal condition	Under temperature gradient condition
	(D_{eA}) ($10^{-3} \text{cm}^2/\text{sec}$)	(D_{eB}) ($10^{-3} \text{cm}^2/\text{sec}$)
15°C68.5%RH	66.3	< 147
20°C50.0%RH	106.	< 147
30°C27.6%RH	118.	< 137
20°C35.0%RH	102.	< 170
20°C50.0%RH	106.	< 147
20°C65.0%RH	123.	116

きる。

次に、等温条件下の透湿で温度が同一の 20°C で相対湿度を変化させた環境条件下の実験を行った場合の D_e は表 4 の D_{eA} のように相対湿度の増加とともに大きくなっている。

媒体中の物質の拡散において、その拡散係数は媒体中の物質の濃度に依存することが知られている。例えば、塩化カリウム (KCl) のその水溶液中での拡散係数は KCl の濃度の増加とともに増加している [9]。

また、J. Crank [10] は媒体中での物質の拡散係数を物質の濃度 C に対して、次式のように示している。

$$D = D_0 + f(C) \quad (3)$$

ここで D_0 は $f(C) \rightarrow 0$ での拡散係数である。 $f(C)$ の変化により D は D_0 より大きくもなれば、小さくもなる [10]。表 2 から環境温湿度が 20°C 35%RH から 20°C 65%RH になることにより水面側表面空気層の湿度 C_{1A} は殆ど変わらないが、上側表面空気層の湿度 C_{2A} は大きく

なっていることがわかる。この水蒸気濃度 C_{2A} の増大が D_{eA} の増大に関係していると思われる。しかし、(2) 式について考えると、表 2 の $C_{1A} - C_{2A}$ の値が環境湿度が低いほど大きくなっており、このことが環境湿度が低いほど透湿度 P_A の大きくなることに影響しているものと推定できる。

5.2. 温度勾配条件下の透湿

透湿カップの中を 32°C に保ち、これより温度の低い環境温湿度中で透湿実験を行った場合の D_e の計算結果を D_{eB} で表し、絶対湿度が同一で温度を変化させた場合及び温度が同一の 20°C で相対湿度を変化させた場合のそれぞれの場合について、等温条件下の結果と合わせて、値の大小を示す記号とともに表 4 に示した。

(1) 式は等温条件下の透湿の場合の計算式であるが、表 3 からわかるように、温度勾配条件下の実験で、重ね布両表面の温度差は大きくても 5°C 程度であった。よって、(1) 式に実験方法で説明した重ね布両表面の水蒸気濃度の値 C_{1B} 及び C_{2B} を用いて第 1 近似として D_{eB} の値を計算した。

表 4 から、等温条件下の透湿を透湿カップ内の温度を 32°C に変えることで、20°C 65%RH の環境条件下の D_{eB} の値は D_{eA} の値より少し小さくなっているが、絶対湿度を同一にして環境温度を変えた場合も、温度を同一にして環境湿度を変えた場合も、 D_{eB} は D_{eA} よりその値が大きくなっていることがわかる。そして、前者の場合は環境温度の低いほど、後者の場合は環境湿度の低いほど、その効果の大きいことがわかる。

(1) 式における α 及び l の値は、すでに述べたように、各実験において同じであるので、 D_e の値の大きさは、 P 及び $1/(C_1 - C_2)$ の値のそれぞれの大きさに比例する。よって、温度勾配条件下の透湿実験で得られた各環境温湿度条件下の P_B 及び $1/(C_{1B} - C_{2B})$ の値の等温条件下の透湿実験で得られた対応する環境温湿度条件下のそれぞれの値に対する比率、 P_B/P_A 、 $(C_{1A} - C_{2A})/(C_{1B} - C_{2B})$ の値を調べ

Table 5 Ratio of each Value under Temperature Gradient Condition (B) to each Value under Isothermal Condition (A).

Environmental temperature and humidity	P_B	$(C_{1A} - C_{2A})$	P_B	$(C_{1A} - C_{2A})$	D_{eB}
	P_A	$(C_{1B} - C_{2B})$	$\times$		D_{eA}
15°C68.5%RH	5.48	0.405	2.22	2.22	2.22
20°C50.0%RH	2.46	0.556	1.37	1.37	1.37
30°C27.6%RH	0.895	1.30	1.16	1.16	1.16
20°C35.0%RH	2.20	0.753	1.66	1.67	1.67
20°C50.0%RH	2.46	0.556	1.37	1.37	1.37
20°C65.0%RH	3.11	0.302	0.94	0.94	0.94

ることで、温度勾配を与えたことによる透湿度変化及び布層両面の水蒸気濃度の変化の影響の大きさを知ることができる。よって、各環境温湿度について、そのそれぞれの値を表5に示した。また、その比率の積、さらに、計算された D_e の同様の比率 $D_{e,B}/D_{e,A}$ の値を合わせて表5に示した。各数値の大小関係を記号で示している。

$(C_{1A}-C_{2A})/(C_{1B}-C_{2B})$ の値は絶対湿度が同一で環境温度が変わった場合、環境条件 30℃ 27.6%RH の場合は 1.30 であるが、これより環境温度の低い場合は 1 より小さく、環境温度の低いほど小さくなっている。温度が 20℃ で同一で環境相対湿度が変わった場合の $(C_{1A}-C_{2A})/(C_{1B}-C_{2B})$ の値は、いずれの環境相対湿度の場合も 1 より小さく、相対湿度の低い方が大きくなっている。これらの結果に対して、P の対応する比率 P_B/P_A の値は、絶対湿度が同一で温度が変わった場合、環境温度が低くなるに従って 1 より大きく、かつ非常に大きくなっている。温度が 20℃ で同一で環境相対湿度が変わった場合は、いずれの場合も 2 以上で非常に大きくなっており、環境湿度が大きいほど大きくなっている。そして、その積 $(P_B/P_A) \times [(C_{1A}-C_{2A})/(C_{1B}-C_{2B})]$ は絶対湿度が同一で温度を変えた場合、1 より大きく、かつ温度が低いほど大きくなっている。温度が 20℃ で同一で相対湿度を変えた場合は相対湿度が低いほど、その値が大きくなっている。そして、これらの値は D_e について求めた対応する同様の比率 $D_{e,B}/D_{e,A}$ の値と等しくなっている。

以上のことは、透湿カップ内を 32℃ にしたことにより、求めた D_e の値に大きく影響を及ぼしているのは、重ね布両面の湿度の変化よりも、透湿度 P が大きく観測されたことの方がはるかに大きいことを示すものである。

本報告の一部は第 14 回繊維連合研究発表会(繊維学会ほか6学会共催)(1996年11月、東京、東京理科大学神楽坂校舎)において発表した。

文献

1. Compiled A. Nakayama "ONNETSU SEIRIGAKU" Riko Gaku Shya, p541 (1981)
2. K. Tsubouchi, *Sen'i Seihin Shohi Kagaku*, **28**, 271 (1981)
3. H. Kanetsuna, T. Kobe, T. Takenaka and A. Makabe, *Sen'i Gakkaishi*, **52**, 224 (1996)
4. K. Masuyama and H. Kanetsuna, *Sen'i Gakkaishi*, **54**, 331 (1998)
5. N. Senda and H. Kanetsuna, *Sen'i Gakkaishi*, **56**, 38 (2000)
6. H. Kanetsuna and T. Takenaka, The 14th Sen'i Rengo Kenkyu Hapuyokai (Tokyo, Tokyo Rika Daigaku 1996-11).
7. H. Kanetsuna, A. Nemoto and K. Muramatsu, *Sen'i Gakkaishi*, **40**, 432 (1993)
8. L. Fourt and M. Harris, *Text. Res. J.*, **17**, 256 (1947)
9. J. Samejima, H. Akamatsu, H. Iguchi T. Sasaki, T. Tachibana, K. Tamaru, M. Nakagaki, and K. Yoshioka, "BUTSURI KAGAKU JIIKENSHO", Shyo Ka Bho, p223 (1991)
10. J. Crank, "The Mathematics of Diffusion" Clarendon Press Oxford, Second Edition, p160 (1975)